

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Analýza vnitrobalistického děje plynovek s expanzí stlačeného plynu

Analysis of Internal Ballistic Process with Expansion of Compressed Gas in Gas Guns

Student:

Lukáš Kučera

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Stanislav Beer, CSc.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student:

Lukáš Kučera

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2302R010 Konstrukce strojů a zařízení

Specializace:

50 Lovecké, sportovní a obranné zbraně a střelivo

Téma:

Analýza vnitrobalistického děje plynovek s expanzí stlačeného plynu

Analysis of Internal Ballistic Process with Expansion of Compressed
Gas in Gas Guns

Zásady pro vypracování:

1. Na základě rešerše v zadané oblasti zpracujte přehled principů a konstrukcí plynovek včetně přehledu jejich TTD, zdrojů tlakové energie a zařazení do kategorií dle zákona č. 119/2002 Sb.
2. Analyzujte základní vnitrobalistické systémy plynovek a zhodnoťte jejich základní konstrukční parametry a nabíjecí podmínky. Jednotlivé systémy doložte principiálními schématy.
3. Sestavte, resp. upravte matematický model pro vnitrobalistický výpočet vybraného principu plynovky dle upřesnění s vedoucím práce a vyřešte průběh vnitrobalistických veličin.
4. Pro zadaný typ plynovky navrhňte její úpravu pro možnost měření tlaku standardizovanými piezoelektrickými snímači.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Petruželka, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 30. 6. 2009 [cit. 2009-30-10]. Dostupný z www: <URL: <http://www.345.vsb.cz/KE%20vyuka/Jak%20ps%C3%A1t%20cerven%202009.pdf>.

Beer, S., Plíhal, B., Jedlička, L., Vítek, R. *Vnitřní balistika LSOZ*. [Skriptu]. Ostrava: VŠB-TUO, FS, 2006, 110 s.

Plíhal, B., Beer, S., Jedlička, L. *Vnitřní balistika hlavních zbraní*. [Učebnice]. Brno: Univerzita obrany, 2004, 347 s. ISBN 80-85960-83-4

Kalčík, J., Sýkora, K. *Technická termomechanika*. Praha: Academia, 1973, 540 s.

Zákon o střelných zbraních a střelivu č. 119/2002 Sb.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Stanislav Beer, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem předloženou Bakalářskou práci včetně příloh zpracoval samostatně pod vedením vedoucího Bakalářské práce a použil jsem jen parametrů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Ostravě 21.05.2010

.....

Lukáš Kučera

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2010

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Kučera

Adresa trvalého pobytu autora práce:

B. Němcové 389; 542 01 Žacléř

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kučera, L. *Analýza vnitrobalistického děje plynovek s expanzí stlačeného plynu* : *Bakalářská práce* , Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2010, 51 s. Vedoucí práce : Beer, S.

Bakalářská práce *Analýza vnitrobalistického děje plynovek s expanzí stlačeného plynu* se zabývá přehledem dostupných plynových zbraní na současném trhu včetně jejich TTD. V práci je pojednáno o konstrukci těchto zbraní a dále jsou analyzovány charakteristiky principů pohonů jednotlivých systémů. Popisuje konstrukci a umístění tlakových kontejnerů a média, kterými mohou být naplněna. Upravuje matematický model vhodný pro řešení průběhu vnitrobalistických veličin a řeší průběh vnitrobalistických veličin vybrané plynovky. Je navržena úprava zbraně pro měření tlaku standardizovanými piezoelektrickými snímači.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Kučera, L. *Analysis of Internal Ballistic Process with Expansion of Compressed Gas in Gas Guns: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2010, 51 p.

Thesis head: Beer, S.

The thesis *The Analysis of an Internal Ballistic Process of gas guns with an Expansion of Compressed Gas* focuses on an overview of the gas weapons available on the present market; moreover, it includes their tactical and technical data. First of all, it discusses the design of weapons and then it analyzes the characteristics of the principles of propulsion systems. It also describes the construction and placement of pressure containers and medias which can be filled with. Then it modifies a mathematical model suitable for solving the process of the interior ballistics quantities and solves the process of selected gas weapon. Eventually, it suggests an adjustment of the weapon for measuring the pressure with standardized piezoelectric transducers.

Použité označení:

p - tlak

T - teplota

κ_c - poměr měrných tepelných kapacit, adiabatický exponent

φ - součinitel fiktivnosti

t - čas, doba děje

s – průřez

l – dráha

v – rychlost

V - objem

V přehledu jsou uvedeny jen nejčastěji použité označení. Zbytek je uveden přímo v textu.

Obsah

1	ÚVOD.....	10
2	ÚČEL, POPIS A ROZDĚLENÍ PLYNOVEK.....	11
3	PŘEHLED PRINCIPŮ A KONSTRUKCÍ PLYNOVEK.....	13
3.1	Vzduchovky.....	13
3.1.1	Slavie 634.....	14
3.2	Větrovky.....	15
3.2.1	CZ 200 T.....	16
3.3	Plynovky.....	16
3.3.1	Walther Lever Action.....	17
3.4	AirSoft a Paintball.....	18
3.4.1	RK 47 Wood.....	20
3.5	Zdroje tlakové energie a jejich vlastnosti.....	20
3.5.1	Účel tlakových zásobníků.....	20
3.5.2	Konstrukce tlakových zásobníků.....	21
3.5.3	Plnění tlakových kontejnerů.....	22
3.5.4	Druhy plynů v tlakovém kontejneru.....	22
3.6	Zařazení zbraní do kategorie dle zákona č. 119/2002 Sb.	23
4	ANALÝZA ZÁKLADNÍCH VNITROBALISTICKÝCH SYSTÉMŮ PLYNOVEK	25
4.1	Popis a rozdělení.....	25
4.2	Princip pohonu plynovky s průběžným plněním plynu.....	25
4.3	Princip pohonu plynovky s expanzí stlačeného plynu.....	26
4.4	Porovnání použitých principů.....	28
4.4.1	Princip plynovky s průběžným plněním.....	28
4.4.2	Princip s expanzí stlačeného plynu.....	28
4.5	Nabíjecí podmínky a zásobníky střel.....	29
5	MATEMATICKÝ MODEL ŘEŠENÍ VNITROBALISTICKÉHO DĚJE.....	32

5.1	Matematický model a výpočet průběhů vnitrobalistických veličin	32
5.1.1	Analýza vlivu hodnot vstupních veličin na úst'ový výkon zbraně	36
5.1.2	Analýza konstrukčního principu hodnocené zbraně	39
6	NÁVRH ÚPRAVY ZBRANĚ PRO MOŽNOST MĚŘENÍ TLAKU.....	43
6.1	Popis přeměny CO ₂ při expanzi (uvolnění z tlakové nádoby).....	43
6.2	Měření tlaku plynu	43
6.2.1	Umístění snímače	45
7	ZÁVĚR	49
8	PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY	50

1 ÚVOD

V posledních letech se i v České republice stále více na trhu objevují nejrůznější systémy plynových zbraní, jejichž držení podle zákona č. 119/2002 Sb. nepodléhá registraci. Jsou nabízeny a často i při různých akcích používány principy, které umožňují jednoduchou úpravou regulaci úst'ového výkonu a tím i překročení zákonem stanovenou hodnotu 16 J.

Cílem této práce je úvodní charakteristika konstrukcí a používaných principů plynovek. V práci jsou proto uvedeny typické příklady dostupných zbraní tohoto typu na trhu s jejich základními takticko-technickými daty. Dále je zde pojednáno o zdrojích energie potřebné k vymetení střely z hlavně a jejich uložení v systému. Objasněné jsou zde i možné nabíjecí podmínky a zásobování zbraně střelami.

V předposlední kapitole je pak uveden obecný matematický model vnitrobalistického děje plynovek převzatý z [2], který je v souladu se zadáním upraven pro řešení plynovek s expanzí stlačeného plynu. Pro zvolenou zbraň jsou z dostupných podkladů odečteny, případně i odhadnuty charakteristiky nutné k vyřešení průběhu základních vnitrobalistických veličin – průběhu tlaku plynu v hlavni, rychlosti a dráhy střely v hlavni. S využitím programu v Matlab jsou uvedené průběhy vypočítány a následně je s využitím zpracovaného programu i analyzován vliv zvolených úprav balistického systému na průběh výstřelu, resp. na úst'ový výkon zbraně.

V poslední části je pak popsána úprava plynové zbraně pro možnost měření tlaku standardizovanými piezoelektrickými snímači.

2 ÚČEL, POPIS A ROZDĚLENÍ PLYNOVEK

Plynové zbraně se používají převážně ke sportovním účelům, k zábavné střelbě, k lovu drobných škůdců a k tréninku střelby. Střelba z plynových zbraní efektivně nahradí reálnou střelbu z palných zbraní na menší vzdálenosti. Tato střelba umožní zdokonalit techniku střelcejiho za méně vynaložených nákladů, zejména z hlediska velikosti a zabezpečení prostorů nutných ke střelbě. Dále se plynovek užívá k seznámení začínajícího střelce s funkcí zbraní, jejich účelu a bezpečnému zacházení se zbraní. Se vzduchovkami se setkáme nejen v civilních, ale i ve vojenských sektorech, jako například v počátečních fázích výcviku jednotlivce v armádě.

Plynové zbraně jsou oblíbenou náhražkou palných zbraní z důvodu jejich nepodléhání registraci dle zákona 119/2002 Sb. Tuto zbraň mohou vlastnit všichni bez ohledu na to, zdali mají zbrojní průkaz. Podmínky pro držení těchto zbraní jsou upraveny v zákoně 191/2002 Sb., § 15. Hranici pro nutnou evidenci a potřebnost zbrojního průkazu určuje energie střely na ústí jejich hlavně, jejíž maximální přípustná hodnota je 16 J. Některé plynové zbraně mají možnost energii střely na ústí hlavně regulovat, ovšem maximální hodnota nesmí přesáhnout 16 J stanovených zákonem.

Plynové zbraně využívají k provedení jednoho výstřelu energii stlačeného plynu [1]. Od klasických zbraní se liší jedním hlavním faktorem a to je absencí střeliviny. S tím se dále pojí i její funkce a doprovázející děje, jako jsou například zvukový efekt a záblesk při výstřelu. Odpadá i nutné ošetření zbraně po každé střelbě vlivem znečištění zbraně hořením prachové náplně. Dále nedochází k tepelnému namáhání hlavně a celého systému. Její konstrukce umožňuje použití materiálů s nižšími pevnostními parametry, jako je například slitina hliníku nebo plast. Mezi další významný rozdíl od palných zbraní patří i podstatně menší balistický výkon.

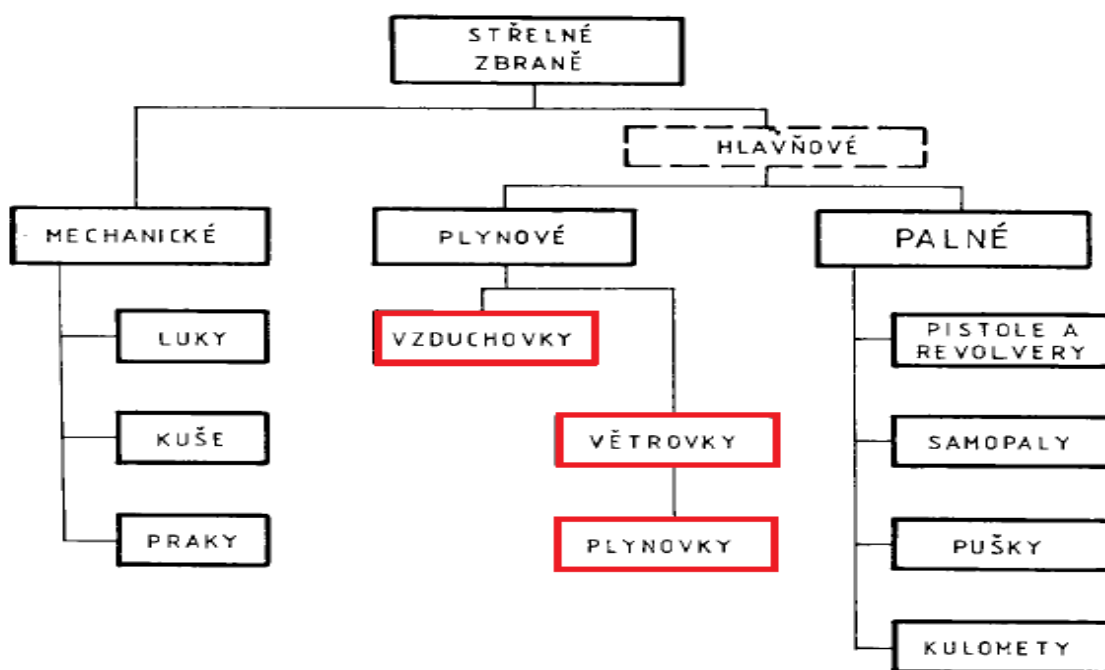
Plynové zbraně pracují s podstatně nižšími tlaky plynu. U vzduchovek se jedná o hodnoty tlaku zpravidla do 10 MPa. To má za následek i pomalejší průběh vnitrobalistického děje a to v porovnání s ručními palnými zbraněmi minimálně až o jeden řád. U průměrné vzduchovky trvá děj výstřelu řádově 0,01 sekundy [1]. Díky menším tlakům dosaženým při výstřelu klesá i úst'ová rychlost střely, která se pohybuje okolo 200 m/s. Plynové zbraně využívají k mechanické práci pouze stlačený plyn, kdežto střelné zbraně využívají k pohonu systému chemickou přeměnu látky, což má za následek spoustu

nežádoucích důsledků. Mezi ně se řadí teplota, znečištění zbraně a světelný a zvukový efekt, který prozradí místo střelce.

Z historického pohledu můžeme datovat první druhy vzduchovek již s výskytem tzv. domorodých „foukaček“, kdy zdrojem energie je vzduch nahromaděný v plicích a princip pohonu jde přirovnat k vzduchovkám, které využívají k protlačení střely hlavní průběžného plnění během výstřelu [3]. Většího rozmachu se dočkaly vzduchovky v třicátých letech 20. století. Používají se převážně ke sportovní střelbě, ale najdeme je i v zábavním průmyslu, například ve střelnících na poutích a podobných společensko-kulturních akcích.

3 PŘEHLED PRINCIPŮ A KONSTRUKCÍ PLYNOVEK

Plynové zbraně patří mezi střelné zbraně hlavního a dále se podle užitého principu dělí na vzduchovky, větrovky a plynovky. Detailní dělení střelných zbraní je podle [1] uvedeno na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Rozdělení střelných zbraní [1]

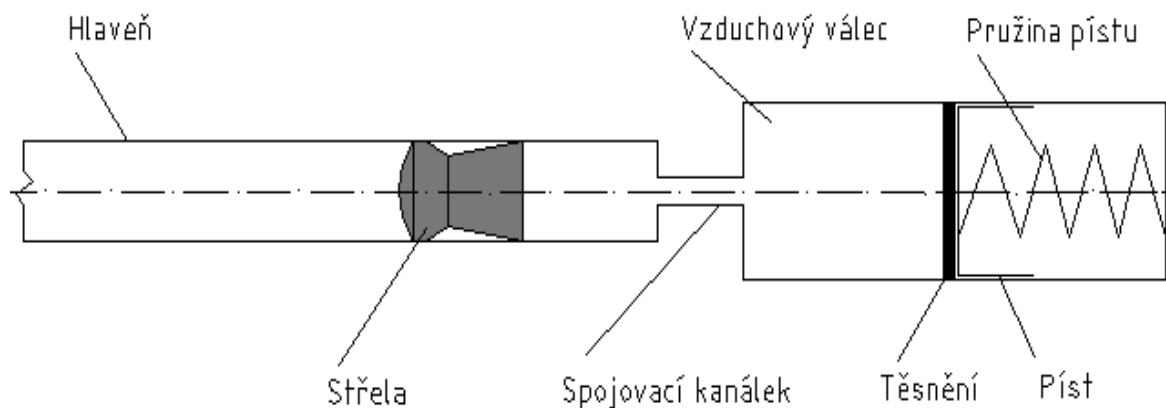
Na současném trhu se pohybuje nemálo výrobců a to jak krátkých, tak i dlouhých plynových zbraní. Mezi ty známější výrobce a dodavatele patří např. Walter, Česká Zbrojovka Uherský Brod, Zbrojovka Brno, Air Arms, Pardini, Anschütz, Steyr, Gamo, Feinwerkbau a Bereta.

3.1 Vzduchovky

Potřebnou energií k uvedení střely do pohybu v hlavní je plyn. Použijeme-li k výstřelu vzduch, který je stlačován v průběhu výstřelu, hovoříme o vzduchovkách [2].

Princip těchto zbraní funguje na základě spolupráce válce a pístu. Píst je pákou posunut vzad, předepjat pružinou a zajištěn v zadní poloze – nataženo. V okamžiku výstřelu se po stisku spouště vypouštěcí pákou píst uvolní a začne stlačovat vzduch

obsažený ve válci. Ten se zhušťuje, zvyšuje svůj tlak a protéká spojovacím kanálkem do prostoru za střelou. Po překonání odporu kladeného střele zařezáváním do drážek vývrtu, se střela začne pohybovat a následně opouští hlaveň. Principiální schéma je podle [3] vyobrazeno na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Principiální schéma vzduchovky [3]

3.1.1 Slavie 634

Příkladem tohoto principu je proslavená Slavie pocházející z dílen České zbrojovky. Tato jednoraná zbraň je oblíbená pro její jednoduchou konstrukci, obsluhu a cenovou dostupnost. K natažení systému a připravení vzduchovky do pohotovosti ke střelbě slouží zlamovací hlaveň. Hlaveň zde zastává dvě funkce.

První a tou nejpodstatnější funkcí je vymetení, vedení a stabilizace střely po opuštění hlavně. Druhou funkci plní hlaveň po jejím zlomení. Zde ji využijeme jako páku a při překonání odporu natáhneme píst přes jednoduchý převod do zadní polohy. Zbraň je samozřejmě opatřena pojistkou proti nežádoucímu výstřelu. Nabíjení probíhá ve fázi, kdy je zbraň zlomená. Náboj se zasouvá ručně do nábojové komory.

Tato zbraň se vyrábí ve třech verzích. Uvedeným modelem se snažil výrobce uspokojit potřeby širšího spektra uživatelů. Model 630 slouží k rekreační a zábavné střelbě. Slavie 631 je určena k masivnímu sportovnímu užití. A poslední vzduchovka s číslem 634 je určena k rekreační střelbě a k odstřelu drobných škůdců, obr.3.3 [4]. Její základní takticko-technická data (dále TTD) jsou shrnuta v tab. 3.1.

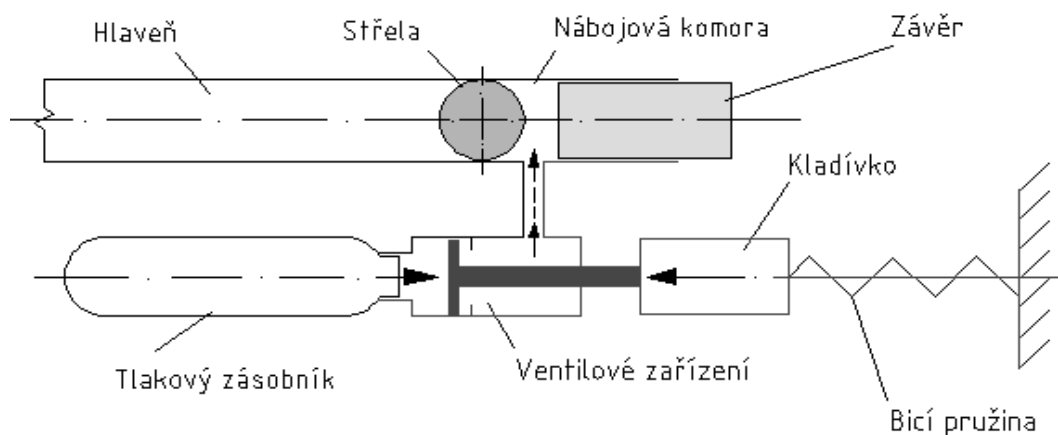


Obr. 3.3 Slavie 634 - Uherský Brod [4]

3.2 Větrovky

Zbraně zařazené do této skupiny využívají taktéž k vymetení střely z hlavně plyn. Na rozdíl od vzduchovek využívají k zásobě vzduchu tlakovou nádobu a v okamžiku spuštění se uvolní část zásoby stlačeného vzduchu k vytlačení střely z hlavně. Považujeme to za převratný systém v oblasti plynových zbraní. Umožňuje střelci opakovaně provést výstřel, aniž by docházelo k manuálnímu a pracnému natahování systému. To má za následek účinné zkracování času mezi jednotlivými výstřely a nerozptyluje střelce ze zamířené polohy.

Někteří výrobci se zabývají z velké části i touto problematikou a výsledkem jsou účinné a spolehlivé zásobníky střel. Zásobníky sice pojmu jen omezené množství projektilů, ale větrovka v tomto provedení se svým nabíjecím cyklem podobá opakovacím cyklům palných zbraní. Způsob uvolňování a odebrání vzduchu z tlakového zásobníku může mít více konstrukčních provedení. Jeden z nejpoužívanějších je vyobrazen a popsán na obr. 3.4 [2].



Obr. 3.4 Principiální zobrazení plynovky [2]

3.2.1 CZ 200 T

Výborným představitelem větrovky na současném trhu je moderní zbraň z řad České zbrojovky s označením CZ 200 T, obr. 3.5 [6].



Obr. 3.5 CZ 200 T [6]

Tento model je výsledkem úzké spolupráce České zbrojovky a uznávané anglické firmy Air Arms. Je to velice spolehlivá a účinná zbraň s ústřovou energií střely do 7,5 J [6]. Zbraň je jednoraná a nabíjení probíhá ručně, jakmile je závěr odsunut a nachází se v zadní poloze. V případě použití dostupného příslušenství je zbraň doplněna o zásobník a cyklus je opakovací.

Terčové provedení větrovky CZ 200 T je určeno pro tréninkovou i soutěžní střelbu základní úrovně. Konstrukce vzduchové zbraně vyhovuje pravidlům ISSF. Česká zbrojovka ovšem vyrábí, tak jak u předchozího modelu z řad vzduchovek, i u CZ 200 více provedení. Základní provedení CZ 200 S se vyrábí ve stejné nebo větší ráži a může jí být použito jak k terčové střelbě, tak k hubení malých škůdců (pokud je to dovoleno), jelikož ústřovou energii střely je možno nastavit až na 16J [6]. Tlaková nádoba se stlačeným vzduchem je umístěna pod hlavní. Základní TTD větrovky CZ 200 T jsou uvedeny v tab. 3.1.

3.3 Plynovky

Zbraně nesoucí tento název využívají stejně jako větrovky k uvedení systému do pohybu stlačený plyn. Jejich konstrukce se velice podobá větrovkám a nebo můžou být zcela totožné. I tyto zbraně v sobě mají zabudovaný tlakový kontejner, který plní funkci zásobníku plynu. Rozdíl mezi nimi přece ale je. Jedná se právě o použitý plyn. Jakmile je v tlakovém zásobníku použit jiný plyn než vzduch, hovoříme o plynovkách [2]. Nejčastěji se setkáváme s použitím oxidu uhličitého (CO_2).

Častěji se na trhu setkáme s krátkými zbraněmi, využívající tento druh plynu. Znatelné rozdíly teplot a příliš rychlá střelba mohou mít za následek snížení výkonu střelby. Princip systému k protlačení střely hlavní má různé konstrukce.

3.3.1 Walther Lever Action

Plynovky Umarex CO₂ jsou replikami světoznámých zbraní a jsou oblíbené pro aktivní volnou zábavu. Model Walther Lever Action je zbraň určená ke sportovní a rekreační střelbě do 10 metrů, viz obr. 3.6 [7]. Tato zbraň má jednoduchou obsluhu, výměna tlakových zásobníků je snadná a rychlá. Jejich umístění je, vzhledem ke konstrukci zbraně, v pažbě namontované vně na botce pažby, viz obr. 3.7 [7]. Tento model má zásobník na 8 ran, viz. obr. 3.8 [7]. Základní TTD jsou uvedena v tab. 3.1.



Obr. 3.6 Walther Lever Action [7]



Obr. 3.7 Uložení zásobníků se stlačeným plynem [7]



Obr. 3.8 Zásobníkové provedení – 8 ran [7]

Většího zastoupení plynovek najdeme u krátkých zbraní. Konstrukce pistolí nasvědčuje o tom, že zde nemůžeme hledat tlakové kontejnery větších rozměrů. To má za následek menší počet ran na jedno naplnění a menší energii střely na ústí zbraně.

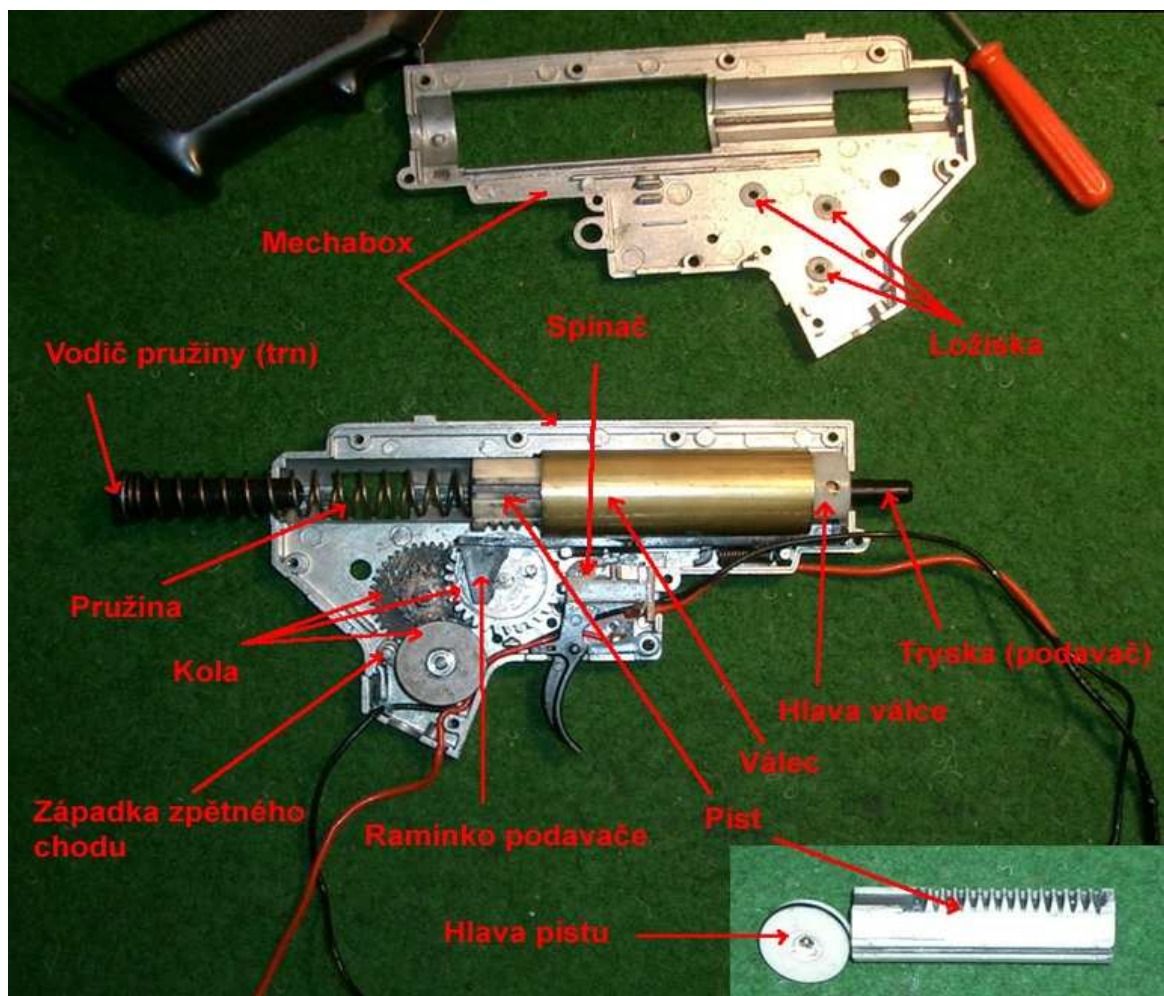
3.4 AirSoft a Painball

Veliké zastoupení plynovek, větrovek, vzduchovek a využití jejich systémů nebo jejich kombinací nalezneme i u širokého sportovního a sběratelského odvětví jako je AirSoft a Paintball. Tyto zbraně jsou převážně určeny ke sportovním a tréninkovým účelům a vyrábí se i jako věrné kopie krátkých i dlouhých palných zbraní. Výrobci se přibližují originálu jak hmotností, tak i použitým materiálem. Přesto je ale nejpoužívanějším materiálem tvrzený plast, tzv. ABS plast.

Konstrukce zbraně, úst'ová rychlost a použité střelivo umožňuje, za dodržení bezpečnostních opatření, trénink jednotlivce nebo skupiny střelbou i na živé cíle a to bez smrtícího nebo zraňujícího účinku. Oblibu u spotřebitelů tyto zbraně získali především svým využitím a dobrou cenovou dostupností. Pro nošení a používání těchto zbraní nemusí držitel vlastnit zbrojní průkaz, podmínkou je dovršení hranice věku 18 let.

Hlavním rozdílem oproti výše zmíněným zástupcům jednotlivých principů pohonu je materiál a tvar použitého střeliva. Jako použitý materiál střely je u zbraní AirSoft nejčastěji volen plast. Střely mají různé barevné provedení a mohou být i obohaceny fosforeskujícím nátěrem. U zbraní Painball jsou střely konstruované tak, aby měly v cíli destruktivní a značkový účinek. Střela je složená z pružné plastové skořepiny, která se po dopadu na tvrdý cíl roztrhne. Uvnitř střely je umístěna značková barva, která objekt po zásahu obarví malým množstvím barvy. I zde je široké spektrum barev umožňující následnou identifikaci střelce. Novinkou u řad AirSoft zbraní je střelivo stejné konstrukce, ale menšího rozměru.

Střelivo do těchto zbraní nemá klasický tvar olověných diablek. Použitý profil střely je kulovitý. To má své klady i zápory. Mezi lepší vlastnosti patří využití právě kulatého tvaru pro automatickou střelbu. Zbraně mohou ve své konstrukci obsahovat malý elektromotor, který pomocí převodů umožňuje opakovaně natahovat systém zbraně a za precizního podávacího ústrojí střílet dávkami. Systém zbraně AirSoft SR25 URX Special Force je v částečně rozloženém stavu vyobrazen na obr. 3.9 [15]



Obr. 3.9 Částečně rozložená zbraň AirSoft SR25 URX Special Force [15]

Kapacita zásobníku může být na desítky až stovky kusů střeliva. Nevýhodou kulovitého profilu střeliva je jeho balistický koeficient. Střela se nestabilizuje rotací podélné osy jako diabolka, jelikož by nedocházelo k lepším letovým vlastnostem. U řady AirSoft zbraní se pro napřímení dráhy a většímu doletu využívá Magnusovy síly. Střele sférického tvaru je udělena v hlavní rotace kolem příčné osy a vzniklá síla střelu při letu nadnáší. Systémy, které při urychlení střely v hlavní střele udělují patričnou úhlovou rychlost, jsou označeny jako systémy Hop-Up [12].

3.4.1 RK 47 Wood[13]

AK-47 je jedna z nejznámějších zbraní na světě a toho využila firma G&G a vyrobila její věrnou kopii v podobě zbraně AirSoft RK 47 Wood, viz obr. 3.10. Slouží ke sběratelským účelům a sportovně aktivní střelbě. Je to zbraň opatřená elektromotorem, který natahuje systém zbraně a umožňuje tak střílet dávkami. Na zbrani jsou použity kvalitní materiály. Tělo je vyrobeno z kvalitního kovu a předpažbí, pažba i pažbička jsou z pravého dřeva, což dodává zbrani na autentičnosti. I pevnost zbraně ob stojí i nešetrné zacházení. V tab. 3.1 jsou uvedeny základní TTD uvedené zbraně.



Obr. 3.10 RK 47 Wood [13]

Tabulka 3.1 TTD popisovaných zbraní

Typ	Slavie 634	CZ 200 T	Walther Lever Action	RK 47 Wood
Ráže [mm]	4,5	4,5	4,5	6
Hmotnost zbraně[kg]	3,0	3,0	3,4	3,07
Úst'ová rychlost [ms^{-1}]	220	165	130	95
Střelivo	diabolky	diabolky	diabolky	plastové projektily

3.5 Zdroje tlakové energie a jejich vlastnosti

V tomto bodě je popsán účel zdrojů tlakové energie, jejich konstrukce a druhy média, kterým mohou být naplněny.

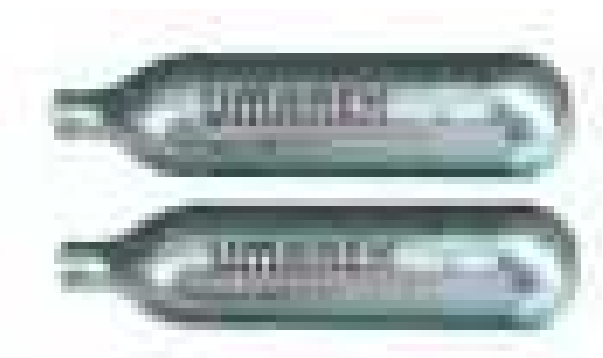
3.5.1 Účel tlakových zásobníků

Tlakové zásobníky slouží k uchování předem stanoveného množství plynu, který je nezbytný pro uskutečnění výstřelu a popřípadě i natažení spoušťového ústrojí. Zbraň z tohoto kontejneru čerpá vždy jen část plynu a to umožňuje provést více výstřelů na jedno naplnění. Plyn se uvolňuje po časově omezeném otevření ventilu. Nahrazuje funkci pístu a

válce u vzduchovky a tím odpadá zdlouhavé natahování pístu do zadní polohy. Zbraň je díky tlakovému zásobníku připravena k opakované střelbě.

3.5.2 Konstrukce tlakových zásobníků

Základem je přesná ocelová bezešvá trubka. Ta může být podle konstrukce a typu zbraně na jednom konci zaslepená a na druhém opatřena ventilem a závitem. Tento případ nalezneme jak u plynových pistolí, tak i u dlouhých zbraní. Tam je uložení tlakového zásobníku například v pažbě přichycený k botce a mohou se vyskytovat i v páru menších objemů, viz obr. 3.11 [9].



Obr. 3.11 Tlakové kontejnery pro pistole – Umarex [9]

Jiné provedení zásobníku má na obou koncích vnitřní závity a vybrání pro těsnící kroužky. V tomto případě může být jeden konec zaslepen tlakovou zátkou, která je opatřena kontrolním manometrem a nebo tlakovou rychlospojkou. Protější stranu uzavírá přepouštěcí ventil. Vně přepouštěcího ventilu se nachází tlakový ventil s pružinou, který řídí a zabezpečuje chod tlakového kontejneru, viz obr. 3.12 [6].



Obr. 3.12 Tlakový kontejner s manometrem [6]

3.5.3 Plnění tlakových kontejnerů

Plnění probíhá pumpičkou, kompresorem nebo tlakovou láhví. V případě použití jiného plynu než vzduchu používáme pouze tlakové láhve.

Před samotným plněním namontujeme na tlakovou rychlospojku hadici pumpy nebo láhve, není-li k dispozici, tak nasadíme přímo na ventil láhve (viz obr. 3.13 podle [6]). Při plnění sledujeme na manometru narůstající tlak v zásobníku a při dosažení požadovaného a dovoleného tlaku plnění přerušíme. Dovolенý tlak určuje výrobce. Ten je samozřejmě nižší od maximálního tlaku, při kterém dochází k destrukci tlakové nádoby. Ten určí výrobce z provedených testů, kdy naplní nádobu na maximální tlak. Při překonání hranice udržitelnosti tlaku v nádobě dojde k destrukci jeho konce a úniku plynu, ale nikoliv k roztržení a rozletu fragmentů.



Obr. 3.13 Tlakový kontejner při plnění z lahve [6]

3.5.4 Druhy plynů v tlakovém kontejneru

Plyny v tlakových zásobnících jednotlivých zbraní mohou být odlišného zastoupení. Větrovky používají k pohonu systému stlačený vzduch, použití jiného plynu využívají plynovky. V plynovkách najdeme především oxid uhličitý. Není možné plnit větrovky plynem CO_2 a naopak, to uvádí každý výrobce v bezpečnostních opatřeních.

Větrovky mívají tlakové zásobníky větších rozměrů, takže použití vzduchu najdeme častěji u dlouhých zbraní. Zdroj tlakové energie CO_2 používáme jak u dlouhých, tak krátkých zbraní. Převážně ale u pistolí a revolverů. Základní charakteristiky obou plynů, potřebné pro vnitrobalistické výpočty, jsou uvedeny v tab. 3.2 [2].

Tabulka 3.2 Vybrané vlastnosti vzduchu a CO₂ [2]

Médium	Měrná plynová konstanta r [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	Adiabatický exponent κ_c	Hustota ρ_{PL} [kg.m ⁻³]
vzduch	287	1,4	1,293
CO ₂	189	1,301	1,98

3.6 Zařazení zbraní do kategorie dle zákona č. 119/2002 Sb.

Každá zbraň i munice je podle účinnosti a účelu požití zařazena do své kategorie přesně definované zákonem. Tento zákon upravuje kategorie střelných zbraní a střeliva, podmínky pro nabývání vlastnictví, držení, nošení a používání zbraní nebo střeliva. Dále práva a povinnosti držitelů zbraní nebo střeliva, podmínky pro vývoz a dovoz nebo tranzit zbraní nebo střeliva a jiné [13]. Kategorie zbraní se rozlišují velkými písmeny. Jednotlivé skupiny obsahují od plně automatických zbraní větších ráží, až po plynové zbraně.

Ve skupině s označením **A** se nachází například zbraně a munice používaná v ozbrojených složkách, jako je policie a nebo Armáda. Patří sem i zbraně, u kterých lze zatajit jejich účel a nebo nejdou zachytit detektorem kovu nebo nedovolené doplňky zbraní, jako je například tlumič hluku výstřelu. Nalezneme zde i plynové zbraně, které neodpovídají výrobnímu provedení.

Skupina **B** zahrnuje krátké i dlouhé zbraně jednoranné, opakovací a samonabíjecí. Patří sem i signální pistole používající signálních nábojů větších než 16 mm. Střelivo do zbraně kategorie **B** může nabývat do vlastnictví, držet a nosit pouze držitel zbrojního průkazu nebo zbrojní licence v rozsahu oprávnění stanovených pro jednotlivé skupiny.

Do skupiny **C** patří zbraně jednoranné nebo víceranové zbraně pro střelivo s okrajovým zápalem, jejichž celková délka se rovná nebo je větší než 280 mm. Jsou zde uvedeny i plynové zbraně, u nichž kinetická energie střely na ústí hlavně je vyšší než 16 J, s výjimkou paintballových zbraní.

Ve skupině **D** jsou historické zbraně, jednoranné a dvouranové zkonstruované na principech doutnákových, kolečkových, křesadlových nebo perkusních zámkových systémů. Palné zbraně určené pro střelbu náboji typu flobert s energií střely na ústí hlavně do 7,5 J. A řadí se sem plynové zbraně na vzduchovou kartuš a plynové zbraně, u nichž kinetická energie střely na ústí hlavně dosahuje nejvíce 16 J. V neposlední řadě sem patří i zbraně na kterých byl vyhotoven řez a nebo zbraně znehodnocené, jejichž funkce byla tímto znehodnocením potlačena. Zbraň kategorie **D** nebo střelivo do této zbraně může

nabývat do vlastnictví a držet nebo nosit fyzická osoba starší 18 let způsobilá k právním úkonům. Zbraň kategorie D nebo střelivo do této zbraně může nabývat do vlastnictví a držet též právnická osoba.[13].

4 ANALÝZA ZÁKLADNÍCH VNITROBALISTICKÝCH SYSTÉMŮ PLYNOVEK

V tomto bodě je pojednáno o vnitrobalistických konstrukcích plynovek a jejich konstrukčních vlastnostech.

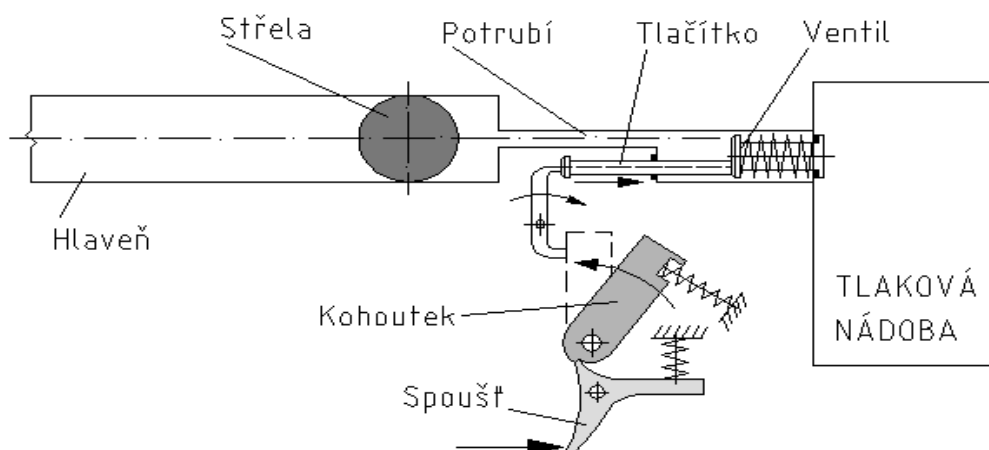
4.1 Popis a rozdělení

V současnosti existuje velké množství druhů plynovek a to jak po stránce konstrukční, tak po stránce zdrojů energie. Plynovky jsou tlakové přístroje pracující s tlaky plynů a díky jejich vlastnostem uvedou zbraň do chodu. Tento pohon plynem jde rozdělit do dvou základních skupin. Na trhu se mohou objevit i další konstrukční možnosti pohonu plynovky, ale budou to vždy kombinace těchto dvou.

První skupinou jsou zbraně využívající princip pohonu s průběžným plněním plynu a druhý je s expanzí stlačeného plynu. Mezi používanější principy patří systém s průběžným plněním. Ovšem oba dva zmíněné principy využívají předem stlačeného plynu uloženého v tlakové nádobě. Kdežto princip vzduchovek nejprve musí tlak pomocí pístu hnaného pružinou nahromadit a teprve po překonání odporu, který klade střela při zařezávání do drážek hlavně, ji uvede do pohybu. To má za následek časovou ztrátu mezi spuštěním systému a začátkem pohybu střely oproti zbraním využívající předem stlačeného plynu.

4.2 Princip pohonu plynovky s průběžným plněním plynu

První z principů plynovek s průběžným plněním je vyobrazen a popsán na obr. 4.1 [1].



Obr. 4.1 Schématické zobrazení principu plynovky s průběžným plněním plynu [1]

Je to jedno z více možných konstrukčních řešení, každý výrobce má své specifické provedení. Mluvíme-li ale o principu pohonu s průběžným plněním plynu, podstata systému je stejná. Při výstřelu dochází k odběru dávky plynu přímo z tlakového kontejneru.

Spuštění zbraně a provedení výstřelu proběhne po stisku spouště a překonání mírného odporu. Spoušť se pootočí na čepu a její záchytný ozub sklouzne z ozubu úderníku. Tím se uvolní úderník v zadní poloze a působením bicí pružiny se přesune do polohy přední. Zde dopadne na tlačítko (kolík) ventilu. Tyto dvě součástky se začnou pohybovat vpřed jako soustava a narazí do čela ventilu uzavírající tlakový kontejner. Po nárazu dojde k otevření tlakového zásobníku a soustava součástí spolu s ventilem začnou překonávat sílu pružiny, která drží ventil kontejneru v uzavřené poloze. Pak je úderník zastaven dorazem v těle zbraně a dojde k rozdělení soustavy. Kolík ventilu pak ještě pokračuje dál a vrací se až po vybití silového impulsu od úderníku.

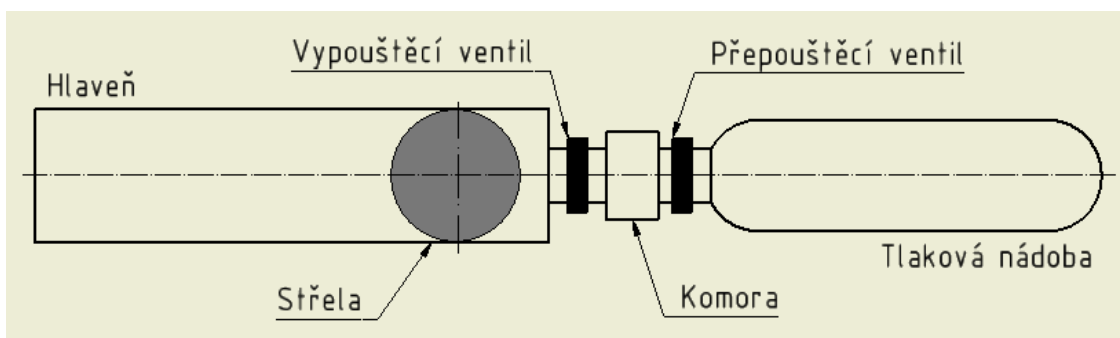
Tlak plynu v této chvíli proudí otevřeným ventilem kolem kolíku do kanálku ve zbrani. Kanálek vede plyn až pod střelu v nábojové komoře a ta je vymetena díky velkému rozdílu tlaku plynu oproti tlaku plynu atmosférickému.

V okamžiku, kdy je tlakový ventil otevřen, dojde k vybití silového impulsu, kterým tlačítko na ventil působil a zapříčinil jeho otevření. Na ventil je vyvíjena síla jeho vratné pružiny a síla přetlaku plynu v nádobě a dochází k jeho uzavření. Přesná volba tvrdosti vratné pružiny ventilu má zde své opodstatnění a to kvůli ubývání tlaku v kontejneru a měnící se jeho působení a síla na ventil. Kolík je stykovou částí ventilu vytlačen směrem k úderníku, který se nachází ve vypuštěném stavu, to je v uvolněné poloze. To je stav, kdy je funkční cyklus zbraně vyčerpán a k jeho opětovnému spuštění je nutné otevřít a vysunout závěr. Budeme-li mluvit o pistolích, je možné, že k natažení systému dojde automaticky.

Výkon této plynovky jde regulovat průměrem kanálku a změnou energie bicího mechanismu, tj. hmotností kladívka a tuhostí bicí pružiny. To nám umožňuje měnit dobu plnění hlavně a tím i energii tlaku plynu dodanou k uskutečnění výstřelu.

4.3 Princip pohonu plynovky s expanzí stlačeného plynu

Druhým typem pohonu je princip s expanzí stlačeného plynu. Jeho principiální schéma a popis je uveden na obr. 4.2.



Obr. 4.2 Principiální schéma plynovky s expanzí stlačeného plynu [2]

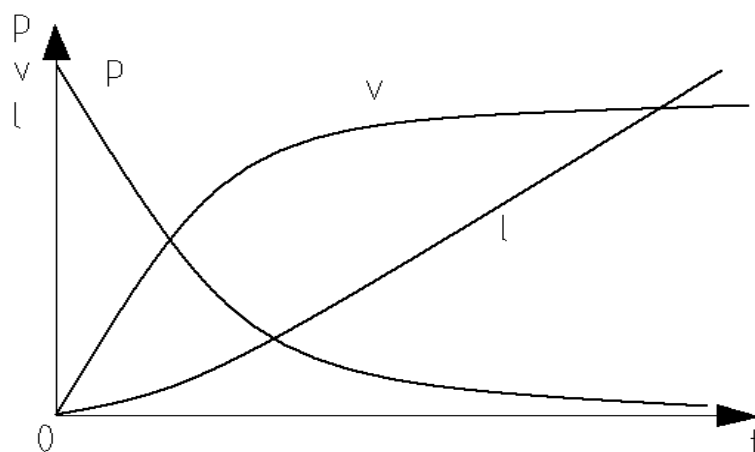
Tento princip využívá k pohonu expanzi plynu nahromaděného v tlakové komoře. Při stisku spouště dojde k otevření vypouštěcího ventilu. Nahromaděný plyn v tlakové komoře se takřka okamžitě uvolní a expanduje. Plyn se po uvolnění dostává do kanálku a do prostoru za střelou. Zde začne působit na dno střely a uvádí ji do pohybu. Zařezávání střely do drážek začíná téměř okamžitě. Střela se začne pohybovat přibližně ve stejné chvíli, jako přepouštění plynu z komůrky, protože uvolňování plynu je časově vzhledem k času výstřelu zanedbatelné.

Při poklesu tlaku a vyprázdnění komory dojde k uzavření vypouštěcího ventilu a tím se zaručí těsnost a připravenost komory pro další naplnění. Opětovné naplnění se provede ručně nebo automaticky. Naplnění ručně probíhá samostatně, není závislé na přebíjení zbraně. Automaticky se otevírá přepouštěcí ventil v druhém případě a to při přebíjení zbraně a natažení spoušťového ústrojí nebo při poklesu tlaku v komoře. Při poklesu tlaku dochází k otevření přepouštěcího ventilu a průběžnému plnění komory na konstantní tlak. Rozdíly průměrů ventilů zabezpečí, že otevřený přepouštěcí ventil nenaplní objem komory dříve, než dojde k uzavření vypouštěcího ventilu.

Konstrukce přepouštěcího ventilu je důležitá, protože musí zaručit regulaci na konstantní tlak v komoře, aby bylo zaručeno stejných průběhů výstřelu u jednotlivých ran. Ventil je náchylný na větší výkyvy teplot a může dojít k špatné funkci ventilu, popřípadě úplné znemožnění výstřelu. Negativní vliv na konstantnost tlaku v komoře má i příliš rychlá střelba.

Ve chvíli, kdy je tlaková komora naplněna na konstantní tlak, přepouštěcí ventil se uzavře a utěsní plyn. K uvolnění a expanzi plynu dochází opět po stisku a pootočení spouště.

Výkon této plynovky jde regulovat velikostí objemu tlakové komůrky a regulací tlaku v tlakové komůrce. Tím je samozřejmě ovlivňován i průběh výstřelu. Možný průběh tlaku plynu, rychlosti střely a její dráhy v závislosti na čase je vyobrazen na obr. 4.3 [2].



Obr. 4.3 Průběh vnitrobalistických veličin v závislosti na čase [2]

4.4 Porovnání použitých principů

4.4.1 Princip plynovky s průběžným plněním

Princip plynovky s průběžným plněním má své výhody i nevýhody. V tomto případě dochází k plnění plynem prostoru ve ventilovém zařízení, kanálku a pracovního prostoru za střelou. To je dostatečně veliký prostor na to, aby zde během průběhu plnění prostoru docházelo ke ztrátám tlaku. Této ztrátě napomáhá i konstrukční provedení daného principu.

V některých konstrukcích najdeme i kolmé záhyby ve vedení a změny průřezů prostoru, které brání plynu ve schůdnější cestě a dochází zde k tlakovým ztrátám a energie plynu. Tyto ztráty energie tedy závisí na délkách vedeného potrubí a poměrem průřezů mezi nimi. Aby se tlakové ztráty projevíly na délce vedení, musely by dosahovat větších vzdáleností, v tomto případě je můžeme tedy zanedbat. Pracovní energie pod dnem střely má tedy menší hodnotu, než tlak v tlakovém kontejneru.

I přes to je tento princip používanější než princip s expanzí stlačeného plynu.

4.4.2 Princip s expanzí stlačeného plynu

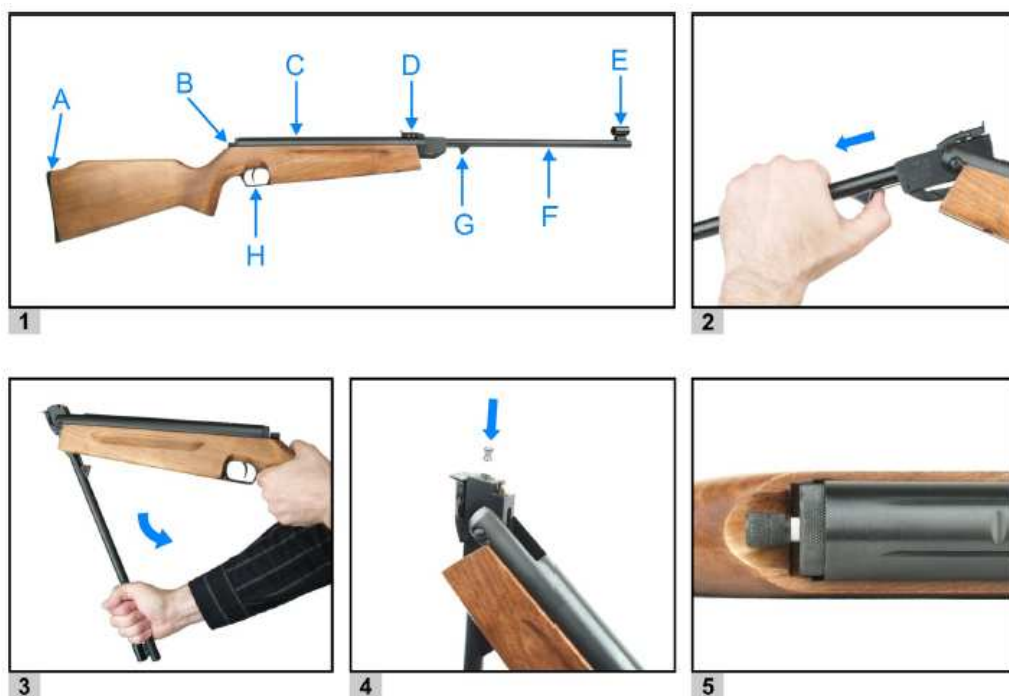
Tyto plynovky použijí vždy předem stlačeného plynu v komůrce, uložený mimo tlakový kontejner a využijí všechnu energii dávky dodaného plynu k vymetení střely. V okamžiku otevření ventilu dojde k expanzi plynu do spojovacího kanálku a do pracovního prostoru za střelou. Plyn překoná pouze jeden rozdíl průřezu prostoru, než se dostane ke dnu střely, přičemž ta už je v pohybu.

Principy s expanzí stlačeného plynu tedy vykazují menší ztráty energie, než v předchozím principu, jelikož okamžitě využijeme celého objemu předem nahromaděného plynu v kanálku.

I přes zanedbatelné tlakové ztráty je v současnosti v nabízených plynových zbraních tento princip méně využíván.

4.5 Nabíjecí podmínky a zásobníky střel

Nabíjení plynových zbraní může probíhat ručně, kdy střelu vložíme prsty do nábojové komory. Popis a postup ručního nabíjení je vyobrazen na obr. 4.4.

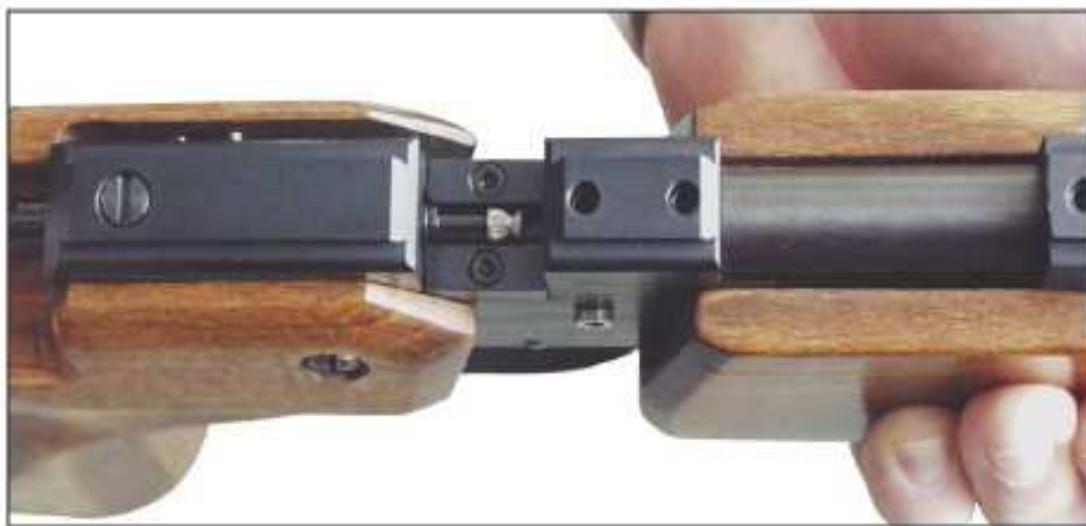


Obr.4.4 Postup při nabíjení Slavie 634 [4]

Názvosloví hlavních dílů na obr.4.4 [4]

- A) Pryžová botka
- B) Tlačítková pojistka
- C) Drážky pro zaměřovač
- D) Stavitelné hledí
- E) Tunelová muška
- F) Drážkovaná hlaveň
- G) Aretační táhlo
- H) Nastavitelná spoušť

K nábojové komoře zbraní s tímto druhem nabíjení se můžeme dostat při zlomení hlavně nebo při odsunutí závěru. Některé zbraně mají svou konstrukci upravenou tak, že po výstřelu odemkneme a odsuneme závěr a je zde umístěn rotační zásobník na omezené množství střel a při zasunutí závěru zpět do přední polohy dojde k pootočení bubínku (viz obr. 4.6) a zasunutí střely do nábojové komory – viz obr. 4.5.



Obr. 4.5 Nabíjecí podmínky CZ 200 T v jednoranném provedení [6]



Obr. 4.6 Zásobníky střel na větrovky řady CZ 200 [6]

Plynové zbraně používají i nabíjecí systémy, jejichž funkce umožňuje střelci střílet nejen jednotlivě, ale i dávkami. To znamená, že konstruktéři museli zkonstruovat takové nabíjecí podmínky, aby přílišně nezdržovaly a nenarušovaly rychlý chod a bezporuchový cyklus zbraně. Takové systémy se nachází převážně u zbraní AirSoft a Paintball. I zde je více možných způsobů, jak zásobovat nábojovou komoru kulovitými projektily. Může to

být řada projektilů vedených v zásobníku za sebou až pod nábojovou komoru (viz obr. 4.7 [15]) a nebo jsou volně nasypány do zásobníku a po vystřelení a odsunutí závěru vlivem gravitace spadnou do prostoru před nábojovou komorou. Pak je střela zasunuta.



Obr. 4.7 zásobník na střely pro AirSoft [15]

5 MATEMATICKÝ MODEL ŘEŠENÍ VNITROBALISTICKÉHO DĚJE

V této kapitole je nejdříve posouzena vhodnost použití obecného matematického modelu odvozeného v [2] a následně je tento model upraven pro aplikaci na zvolenou plynovou zbraň.

5.1 Matematický model a výpočet průběhů vnitrobalistických veličin

Plyn stlačený v tlakové komoře (z hlediska řešení vnitřní balistiky, kdy uvažujeme uzavřený systém, nezáleží na tom, jaká práce byla vynaložena na stlačení plynu v tlakové komoře) je při výstřelu uvolněn a expanduje v pracovním objemu za střelou. [2].

V práci [2] je za předpokladů, že:

- doba výtoku stlačeného plynu z tlakové komory je vzhledem k času výstřelu zanedbatelná (přepuštění plynu z tlakové komory do pracovního objemu hlavně je „okamžité“),
- se okamžitě využije celý objem plynu,
- děj je adiabatický a
- nedochází k tlakovým ztrátám,

odvozen matematický model výpočtu vnitrobalistického děje (průběhu vnitrobalistických veličin) ve tvaru:

$$\varphi \cdot m_q \cdot \frac{dv}{dt} = s \cdot (p - p_{atm}), \quad (5.1)$$

$$p = p_k \cdot \left(\frac{V_0}{V_0 + V_k + V_s + s \cdot l} \right)^{\kappa_c}, \quad (5.2)$$

$$\frac{dl}{dt} = v, \quad (5.3)$$

$$\varphi = k_\varphi + \frac{1}{3} \cdot \frac{m_{PL}}{m_q}, \quad (5.4)$$

kde značí: p_k – tlak plynu v tlakové komoře, p – okamžitý tlak plynu v hlavni, p_{atm} – atmosférický tlak, s – průřez hlavně, m_q – hmotnost střely, V_0 - objem tlakové komory, V_k - objem spojovacího (přepouštěcího) kanálku, V_s - počáteční objem za střelou,

$s \cdot l$ - okamžitý objem uvolněný za střelou, κ_c – adiabatický exponent plynu a m_{PL} - hmotnost plynu v pracovním objemu.

Za předpokladu, že průměr spojovacího (přepouštěcího) kanálku mezi tlakovou komůrkou a hlavní je dostatečně velký, není nutné řešit průtok tímto kanálkem a okamžité množství plynu, které se podílí na urychlování střely (hmotnost plynu v pracovním objemu hlavně), je přibližně rovno množství plynu v tlakové komůrce. Pak je

$$m_{PL} = \frac{p_k \cdot V_0}{r \cdot T_{PL}}, \quad (5.5)$$

kde je r – měrná plynová konstanta a T_{PL} – teplota plynu a součinitel fiktivnosti ϕ bude po celý děj konstantní.

Systém 3 rovnic (5.1) až (5.3) o 4 neznámých t , l , v a p je numericky řešitelný při volbě parametru času t .

Po provedené rešerši v tomto odvětví nebylo možné na základě dostupných informací přesně určit zbraň, která využívá principu expanze tlaku plynu ke svému pohonu. V současné době se „pravděpodobně“ plynovky využívajícího principu expanze stlačeného plynu na trhu nenabízejí a tudíž nebylo možné zajistit potřebná data k provedení výpočtu. Byla tedy vybrána plynovka (paintball pistole), využívající expanze plynu k vymetení střely. Pistole je zastaralé výroby ráže .68, která se zřejmě již nevyrábí, u níž bylo možné ze schémat uvedených v časopise (poskytnut z archivu katedry Zbraní a munice Univerzity obrany) alespoň odhadnout základní rozměry na základě poměrů ke známé ráži. Je stanoveno:

- ráže $d = 0,01727$ m,
- hmotnost střely $m_q = 3,56 \cdot 10^{-3}$ kg,
- celková dráha dna střely $l_d = 0,15$ m,
- objem tlakové komůrky $V_0 = 12 \cdot 10^{-6}$ m³,
- objem spojovacího kanálku $V_k = 5,43 \cdot 10^{-7}$ m³,
- počáteční objem za střelou v nabitě poloze $V_s = 1,35 \cdot 10^{-6}$ m³.

Pro tuto zbraň byly používány bombičky se stlačeným CO₂ a je uvedeno, že bylo dosahováno úst'ové rychlosti 70 až 80 ms⁻¹.

Jedná se o zbraň s hladkým vývrtem, kdy se volí $k_\phi = 1$ a průřez hlavně je průřez kruhu o průměru d , tedy $s = 2,3425 \cdot 10^{-4}$ m².

Pro CO_2 je voleno z tabulky 3.2 [2] $r = 189 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, $\kappa_c = 1,3$ a $T_{PL} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$. V popisu principu zbraně je dále uvedeno, že redukčním ventilem je přepouštěn plyn do tlakové komůrky redukovaný na hodnoty $p_k = 1,0$ až $1,2 \text{ MPa}$ (podle teploty, opotřebení systému těsnění a požadovaného úst'ového výkonu). Po dosazení do vztahu (5.5) při uvažování tlaku $p_k = 1,1 \text{ MPa}$ tak dostaneme

$$m_{PL} = \frac{1,1 \cdot 10^6 \cdot 12 \cdot 10^{-6}}{189 \cdot (273 + 21)} = 2,376 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$$

a po dosazení do (5.4)

$$\varphi = 1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{3,376 \cdot 10^{-4}}{0,00356} = 1,022.$$

Před vlastním výpočtem je upravena rovnice (5.2), neboť v řešeném případě dochází po otevření přepouštěcího kanálku k vyplnění tohoto kanálku a volného objemu za střelou. Tím tlak v komůrce poklesne na hodnotu

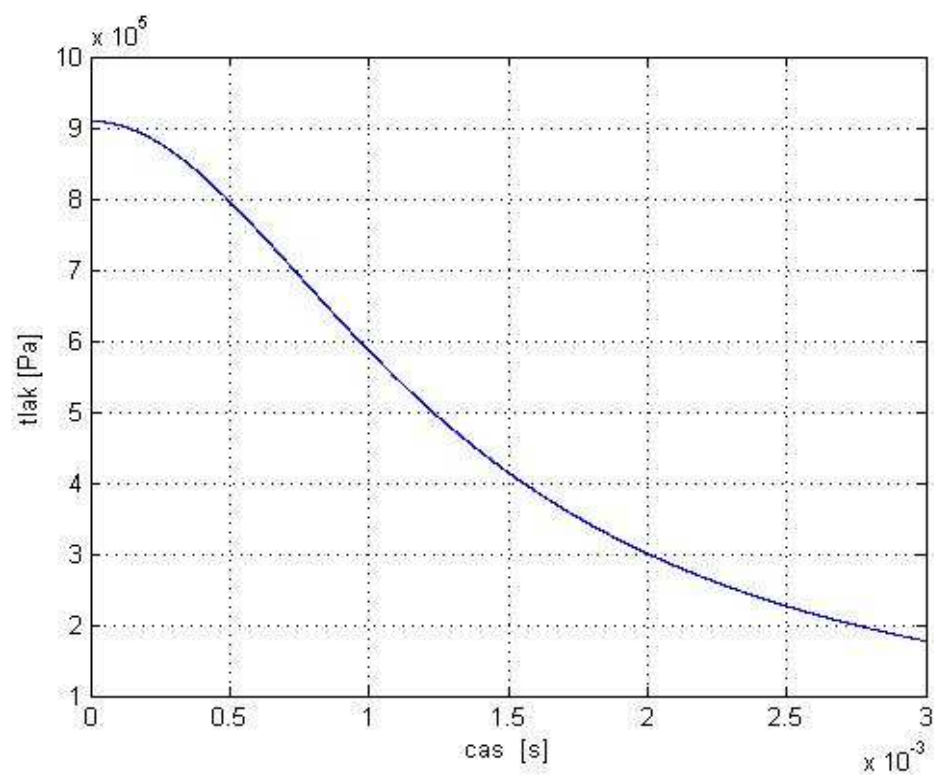
$$p'_k = p_k \cdot \left(\frac{V_0}{V_0 + V_k + V_s} \right)^{\kappa_c}$$

a následnou expanzi stlačeného plynu do uvolněného prostoru za střelou pak popisuje rovnice

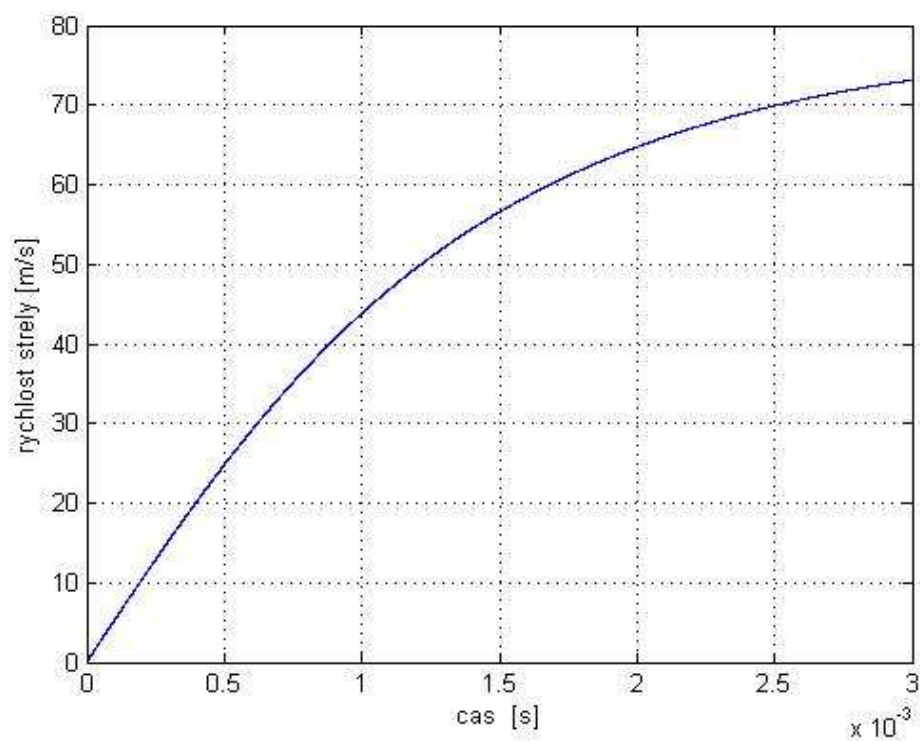
$$p = p'_k \cdot \left(\frac{V_0 + V_k + V_s}{V_0 + V_k + V_s + s \cdot l} \right)^{\kappa_c} = p'_k \left(\frac{V_c}{V_c + s \cdot l} \right)^{\kappa_c}, \quad (5.2a)$$

která nahrazuje původní rovnici (5.2).

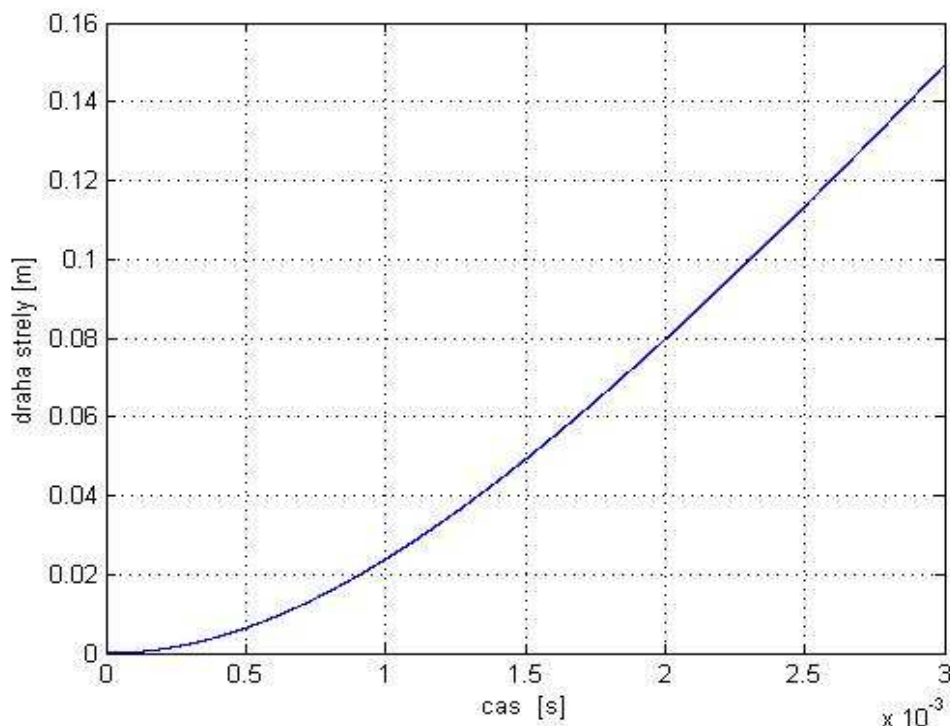
Výpočet byl pro uvedené vstupní hodnoty proveden v programu Matlab a průběh vypočítaných vnitrobalistických veličin je zakreslen na obr. 5.1 až 5.3.



Obr. 5.1 Průběh tlaku v hlavni v závislosti na čase



Obr. 5.2 Průběh rychlosti střely v závislosti na čase



Obr. 5.3 Průběh dráhy střely v závislosti na čase

Výpočtem bylo podle odhadnutých vstupních veličin dosaženo úst'ové rychlosti $73,2 \text{ ms}^{-1}$, což lze považovat za velmi dobrou shodu s uváděnými hodnotami $70 - 80 \text{ ms}^{-1}$. V následující kapitole bude analyzován vliv přesnosti zadaných vstupních veličin na průběh výstřelu, resp. na úst'ový výkon zbraně.

5.1.1 Analýza vlivu hodnot vstupních veličin na úst'ový výkon zbraně

Při výpočtu vnitřní balistiky zvolené zbraně bylo možno potřebná vstupní data pouze odhadnout a je proto vhodné analyzovat vliv hodnot těchto vstupních veličin na průběh výstřelu a dosažený úst'ový výkon.

S touto analýzou pak úzce souvisí i problém, o kterém je zmínka v úvodu a tím je poměrně jednoduchý způsob regulace úst'ového výkonu zbraně a to buď:

- způsobem, který doporučuje výrobce, nebo
- způsobem „nedovoleným“, který může i výrazně zvýšit nebezpečnost zbraně, resp. její ranivé účinky.

V prvním případě jde o eliminaci vlivu provozních podmínek (opotřebení, netěsnění, různé teploty apod.) na počáteční rychlost střel a tím i na požadovanou přesnost střelby. S těmito vlivy obvykle konstruktér počítá a tak u analyzovaných principů zbraní lze např. plynule měnit objem tlakové komůrky V_0 nebo úroveň redukce tlaku z tlakového zdroje na

tlak p_k v tlakové komůrce. Rozsahy těchto změn by však v případě zbraní nepodléhajících registraci neměly umožnit zvýšení úst'ového výkonu nad přípustnou mez.

Druhý způsob vychází z toho, že držitel zbraně záměrně zasahuje do nastavení či vlastní konstrukce zbraně tzv. nepovolenými úpravami převážně s cílem zvýšit úst'ový výkon.

V této kapitole je proto provedena jednoduchá analýza vlivu některých konstrukčních a provozních parametrů na změnu úst'ového výkonu, vyjádřeného úst'ovou rychlostí. K tomu byl využit sestavený program a byl řešen vliv změn:

- snížení hmotnosti střely m_q (záměna střel) o 5 a 10 %,
- zvýšení tlaku p_k v komůrce (úprava redukčního ventilu) o 5 a 10 %,
- zvýšení objemu V_0 komůrky (mechanickou úpravou) o 5 a 10 % a
- zvýšení teploty T_{PL} stlačeného plynu (záměrné dlouhodobé vystavení tlakového zdroje slunečnímu záření či zahřátí jiným způsobem) na 55 a 70 °C.

Uvedené změny vždy způsobí zvýšení úst'ové rychlosti střely. Jako poslední variantu je vyřešen případ, kdy nastanou všechny uvažované změny. Vypočítané hodnoty úst'ových rychlostí pro jednotlivé případy jsou shrnuty v tab. 5.1, kde jsou uvedeny i jejich poměrné změny vzhledem k původní hodnotě. V tabulce jsou dále uvedeny případy důsledku všech změn současně.

Řešená zbraň má hodnotu úst'ové energie cca 10 J. Nemá-li hodnota této energie překročit 16 J, pak pro případ:

- snížení hmotnosti střely m_q o 5 až 10 % by úst'ová rychlost neměla překročit hodnotu 97 ms⁻¹, resp. 100 ms⁻¹,
- uvažovaných změn ostatních jednotlivých parametrů by úst'ová rychlost neměla překročit hodnotu 95 ms⁻¹.

Z výsledků uvedených v tab. 5.1 lze učinit následující závěry:

- největší vliv na dosažený úst'ový výkon (úst'ovou rychlost) má tlak p_k v tlakové komůrce,
- vliv teploty T_{PL} je zanedbatelný,
- vliv malých změn (přesnosti stanovení) objemů je nevýrazný,

- při uvažovaných změnách vybraných parametrů nedojde k překročení přípustné úst'ové energie, resp. úst'ové rychlosti,
- v případě větších změn některých parametrů, zejména tlaku p_k , je však překročení přípustné hodnoty úst'ové energie reálné.

Tabulka 5.1 Hodnoty úst'ových rychlostí $v_{\dot{u}}$ pro jednotlivé změny

	Snížení m_q o		Zvýšení p_k o		Zvýšení V_0 o		Zvýšení T_{PL} na	
	5 %	10 %	5 %	10 %	5 %	10 %	55 °C	70 °C
$v_{\dot{u}} [\text{ms}^{-1}]$	75,4	77,8	76,0	78,8	74,8	76,5	73,3	73,31
$\frac{\Delta v_{\dot{u}}}{v_{\dot{u}}}$	0,03	0,063	0,038	0,077	0,022	0,045	0,001	0,001
	Snížení m_q o 5 % a zvýšení p_k a V_0 o 5 % a zvýšení T_{PL} na 55 °C							
$v_{\dot{u}} [\text{ms}^{-1}]$	80,1							
$\frac{\Delta v_{\dot{u}}}{v_{\dot{u}}}$	0,094							
	Snížení m_q o 10 % a zvýšení p_k a V_0 o 10 % a zvýšení T_{PL} na 70 °C							
$v_{\dot{u}} [\text{ms}^{-1}]$	87,6							
$\frac{\Delta v_{\dot{u}}}{v_{\dot{u}}}$	0,197							

Pro vyjádření vlivu jednotlivých změn na hodnotu úst'ové rychlosti lze využít opravového vzorce z teorie vnitřní balistiky, který je odvozen v [2] ve tvaru

$$\frac{\Delta v_{\dot{u}}}{v_{\dot{u}}} = \sum l_{x_i} \frac{\Delta x_i}{x_i}, \quad (5.6)$$

kde je $\frac{\Delta v_{\dot{u}}}{v_{\dot{u}}}$ - poměrná změna úst'ové rychlosti vyvolaná změnou vstupních hodnot (hodnoty jsou v tab. 5.1), l_{x_i} - opravový součinitel pro změnu vstupního parametru x_i a $\frac{\Delta x_i}{x_i}$ - poměrná změna vstupního parametru (v našem případě vždy 0,05 nebo 0,1).

Opravoví součinitele vyjadřují poměrnou změnu úst'ové rychlosti při poměrné změně vstupního parametru o hodnotu 0,01 (o 1 %) a vyjádříme-li je ze vztahu (5.6), dostaneme

$$l_{x_i} = \frac{\frac{\Delta v_{\dot{u}}}{v_{\dot{u}}}}{\frac{\Delta x_i}{x_i}}. \quad (5.7)$$

Po dosazení hodnot z tab. 5.1 (střední hodnoty mezi změnami o 5 a 10 %) dostaneme závislost

$$\frac{\Delta v_{ii}}{v_{ii}} = -0,615 \frac{\Delta m_q}{m_q} + 0,765 \frac{\Delta p_k}{p_k} + 0,445 \frac{\Delta V_0}{V_0}, \quad (5.8)$$

kteřá umožňuje odhad změny ústové rychlosti při změnách jednotlivých vstupních veličin. Obdobnou závislost lze odvodit i pro změny dalších vstupních veličin.

5.1.2 Analýza konstrukčního principu hodnocené zbraně

Z konstrukčního provedení uvedené zbraně však vyplývá, že tlaková komůrka je s tlakovou nádobou propojena redukčním ventilem po celou dobu výstřelu (redukční ventil není uzavírán) a tak v průběhu výstřelu je zřejmě tlaková komůrka doplňována přitékajícím plynem. Tuto zbraň bez důkladné analýzy samotné konstrukce a funkce proto nelze považovat za čistý princip využívající pouze expanze plynů.

Po dobu výstřelu, kdy je otevřen přepouštěcí ventil mezi tlakovou komůrkou a hlavní, dochází k expanzi plynu do uvolněného objemu v hlavní a zároveň do tlakové komůrky přitéká plyn z tlakové nádoby až do okamžiku dosažení tlaku p_k v tlakové komůrce. Toto přitékající množství tlakové energie plynu se však na výstřelu podílí pouze do okamžiku uzavření přepouštěcího ventilu. Tento čas označíme t_{ii} .

Výpočet byl proto rozšířen o tuto úlohu, která je aplikací úlohy předešlé doplněné o průběžné doplňování tlakové komůrky plynem z tlakového zdroje. Pro tuto úlohu jsou opět v práci [2] odvozeny základní rovnice ve tvaru

$$\frac{d}{dt}(p \cdot V) = \kappa_c \cdot r \cdot T_{PL} \cdot m(t) - (\kappa_c - 1) \cdot p \cdot s \cdot v, \quad (5.9)$$

$$p = \frac{(p \cdot V)}{V_0 + V_k + V_s + s \cdot l}, \quad (5.10)$$

$$\frac{dl}{dt} = v, \quad (5.11)$$

$$\varphi = k_\varphi + \frac{1}{3} \cdot \frac{m_{PL}}{m_q}. \quad (5.12)$$

Do rovnice (5.9) vstupuje okamžité množství plynu $m(t)$ přitéklého v průběhu děje průřezem S_{pk} z vnějšího zdroje (tlakového bombičky) do pracovního objemu zbraně s tlakem p za jednotku času, které je dáno vztahem

$$m(t) = \xi_v \cdot p_z \cdot S_{pk} \cdot \sqrt{\frac{2}{r \cdot T_{PL}}}, \quad (5.13)$$

kde je ξ_v – výtokový součinitel. Jeho hodnota závisí na charakteru výtoku, který je dán kritickým tlakem p^* .

Bude-li mít plyn v tlakové nádobě teplotu T_{PL} a bude-li redukčním ventilem redukován na hodnotu p_k a bude-li v klidu, je kritický tlak pro proudění do tlakové komůrky dán vztahem

$$p^* = p'_k \cdot \left(\frac{2}{\kappa_c + 1} \right)^{\frac{\kappa_c}{\kappa_c - 1}}. \quad (5.14)$$

Až do vymizení kritických poměrů, tj. dokud bude tlak p v tlakové komůrce a tím i v hlavní nižší nejvýše roven tlaku kritickému ($p \leq p^*$), bude plyn z tlakového zdroje do tlakové komůrky a hlavně proudit kritickou rychlostí v maximálním a konstantním množství. Výtokový součinitel pro tento stav udává rovnice

$$\xi_v = \xi^* = \sqrt{\kappa_c} \cdot \left(\frac{2}{\kappa_c + 1} \right)^{\frac{\kappa_c + 1}{2(\kappa_c - 1)}}. \quad (5.15a)$$

Nebude-li podmínka $p \leq p^*$ splněna, výtok bude podkritický (množství přitéklého plynu nebude konstantní) a výtokový součinitel určuje vztah

$$\xi_v = \sqrt{\frac{\kappa_c}{\kappa_c - 1} \cdot \left[\left(\frac{p}{p_z} \right)^{\frac{2}{\kappa_c}} - \left(\frac{p}{p_z} \right)^{\frac{\kappa_c + 1}{\kappa_c}} \right]}. \quad (5.15b)$$

O přitéklé množství plynu musíme upravit i rovnici (5.12), kdy je nutné k množství plynu m_{PL} určeného ze vztahu (5.5) připočítat množství $m_{PL,př} = \int_0^{t_d} m(t) \cdot dt$. Do vztahu (5.12) pak dosadíme

$$m_{PL} = \frac{p_k \cdot V_c}{r \cdot T_{PL}} + \int_0^{t_d} m(t) \cdot dt, \quad (5.16)$$

kde je v tomto případě $V_c = V_0 + V_k + V_s$.

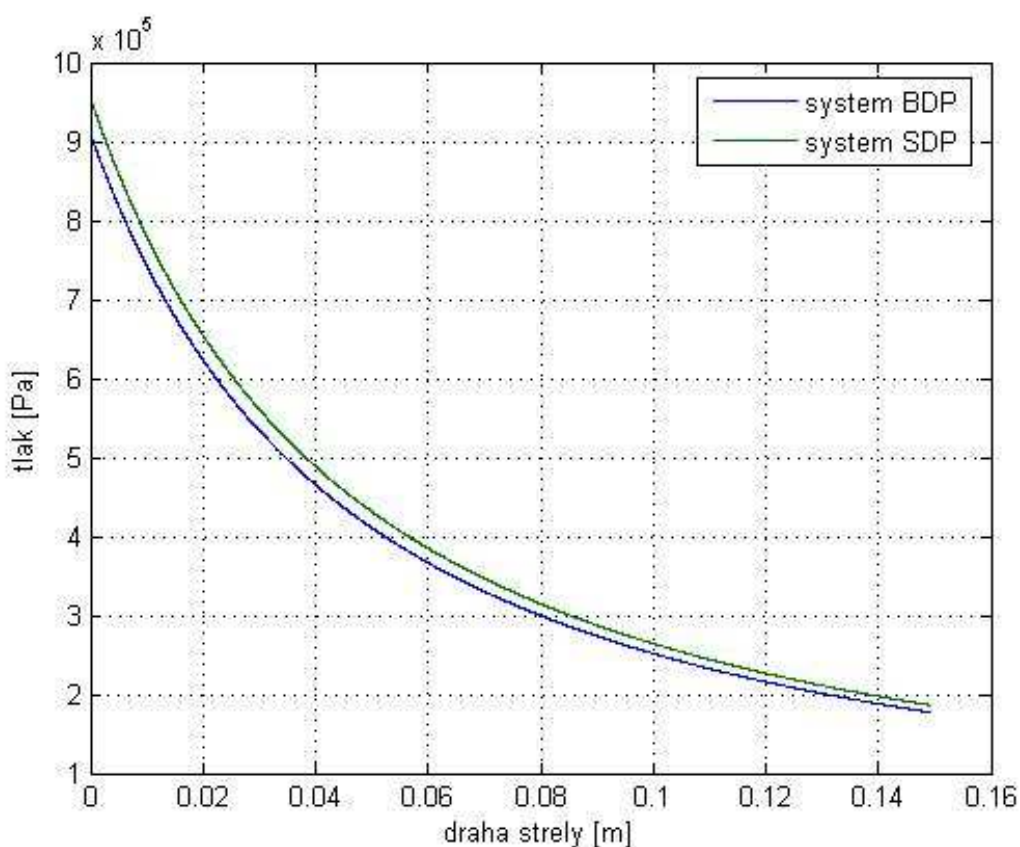
Ze schéma principu zbraně byl odhadnut průměr plnicího kanálku $d_{pk} = 1,2$ mm, tomu odpovídá průřez $S_{pk} = 1,13 \cdot 10^{-6}$ m².

V našem případě, kdy bude kritický tlak vypočítaný ze vztahu (5.14)

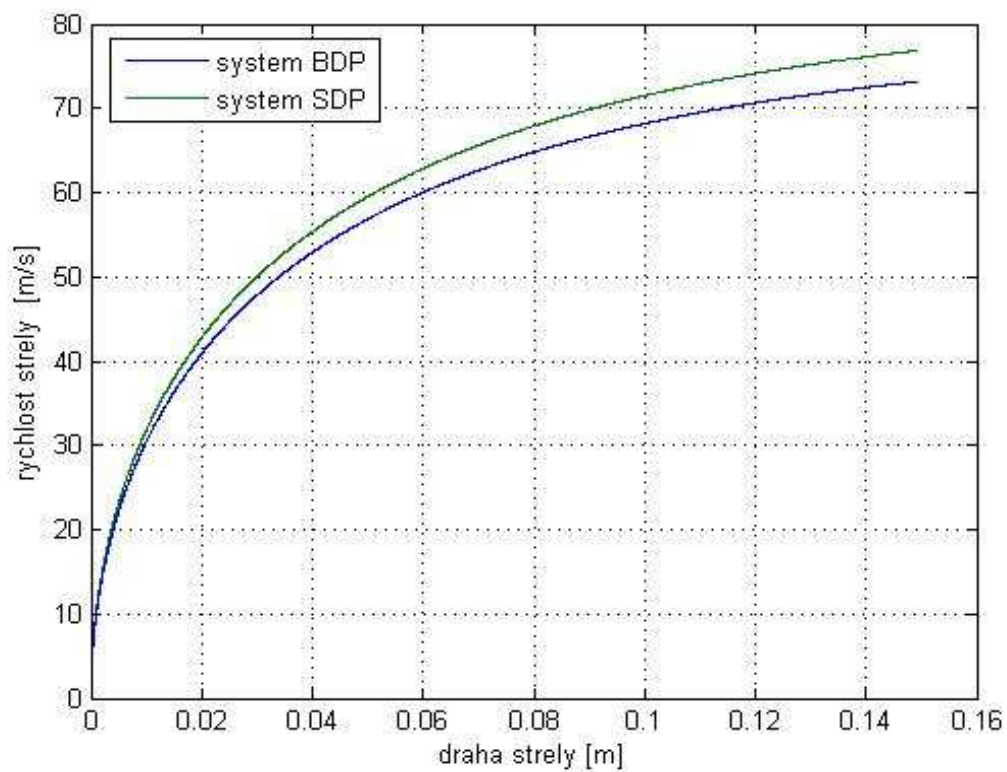
$$p^* = 0,92 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{2}{1,3+1} \right)^{\frac{1,3}{1,3-1}} = 0,502 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

je zřejmé, že dojde nejdříve k podkritickému proudění a od tlaku v hlavni $p < 0,502 \text{ MPa}$ k proudění kritickému.

Výpočet průběhů vnitrobalistických veličin byl opět proveden v programu Matlab a jejich průběh je zakreslen na obr. 5.4 a 5.5, ve kterých jsou pro porovnání zakresleny průběhy pro oba případy – systém bez doplňování plynu (systém BDP) a systém s doplňováním plynu (systém SDP) během děje. Vzhledem k tomu, že u obou systémů je dosaženo jiné ústové rychlosti střely a tím i jiné doby děje, jsou v obrázcích zakresleny průběhy tlaku plynu a rychlosti střely v závislosti na dráze střely, která je v obou případech stejná.



Obr. 5.4 Průběh tlaku v hlavni v závislosti na dráze střely



Obr. 5.5 Průběh rychlosti střely v závislosti na dráze střely

Z výpočtů a z uvedených grafů vyplývá, že průběžným doplňováním tlakové komůrky i když o velmi malém průřezu dojde ke zvýšení úst'ové rychlosti střely o cca 5 % (z původní hodnoty $73,2 \text{ ms}^{-1}$ na $76,8 \text{ ms}^{-1}$).

6 NÁVRH ÚPRAVY ZBRANĚ PRO MOŽNOST MĚŘENÍ TLAKU

K posuzování konkrétního konstrukčního a funkčního principu plynových zbraní a analýze vnitrobalistického děje bude vždy vedle výpočtů nutné i měření. Základním měřením v oblasti palných zbraní je vždy měření průběhu tlaku v prostoru za střelou. V případě plynových zbraní využívajících CO₂ pak bude nutné i měření tlaku v tlakových komůrkách či přepouštěcích kanálcích. Je to dáno především vlastnostmi stlačeného CO₂.

6.1 Popis přeměny CO₂ při expanzi (uvolnění z tlakové nádoby)

Zvážíme-li, že CO₂ stlačený nad 0,392 MPa [10] (v jiných literaturách se mohou hodnoty lišit) je v kapalném stavu. Proto až do kritického stavu by měl být výtok posuzován jako výtok kapaliny o zcela jiné teplotě, než je uvažováno v případě plynu. Uvádí se, že CO₂ stlačený např. na 5 MPa existuje v kapalně fázi. Vypouštíme-li jej ventilem do atmosféry při tlaku $p = 0,1$ MPa, ihned ztuhne ve sněh (suchý led). Teplota vzniklého sněhu CO₂ je nižší než bod tání, který je při tlaku 0,392 MPa -57 °C. Vlivem nižšího tlaku nastane intenzivní odpařování provázené odnímáním tepla, čímž tuhý CO₂ při atmosférickém tlaku dosáhne teploty -78 °C.

Při vypouštění stlačeného CO₂ do prostoru s tlakem $p < 0,392$ MPa (resp. 0,518 MPa) nemůže CO₂ existovat v kapalném stavu, ale pouze ve sněhových vločkách, které sublimují a přecházejí přímo do stavu plynného. Se vzduchem pak tvoří velmi ochlazenou plynnou směs [11].

Měření prováděná na plynových zbraních využívajících stlačený CO₂ bude proto nutné doplnit i o měření zejména teploty směsi vzduchu a CO₂. Z tab. 5.1 je vliv teploty plynu, v tomto případě směsi plynu zřejmý.

6.2 Měření tlaku plynu

V tomto bodě je popsán návrh měření průběhu tlaku plynu v hlavni s využitím piezoelektrického snímače. Návrh předpokládá umístění snímače (zhotovení odběrného kanálku) pro tzv. zadní měření (ve starší literatuře „měření na prachu“).

Podle umístění tlakoměru, vyvrtání otvoru pro jeho našroubování na hlavni rozlišujeme měření zadní - umístění snímače na nábojové komoře a měření přední, kdy je snímač umístěn před ústím nábojnice.

Ve vnitřní balistice se obvykle využívají dva typy měření tlaku, a to buď měření pouze maximálního tlaku dosaženého v hlavni zbraně, nebo spojitě měření závislosti tlak –

čas. K těmto měřením se v současnosti využívají dva hlavní typy snímačů a to snímač s tlakoměrným tělískem a piezoelektrický snímač [2].

U malorážových zbraní se používají závitové tlakoměry, které však vyžadují zvláštní úpravy na hlavni. Pro umístění je nutné do hlavně vyvrtat otvor a opatřit ho závitem, totožným se závitem na tlakoměru. Taková hlaveň opatřená otvorem, popřípadě několika otvory pro našroubování snímačů se pak nazývá tlakoměrná balistická hlaveň. Jde prakticky o speciální laboratorní zařízení, tzv. balistickou zbraň, která je určena pouze pro měření [2].

Piezoelektrický snímač slouží k balistickému měření průběhu tlaku plynů v hlavni. Piezoelektrické měření je nepřímé měření tlaku a spočívá ve využití vlastností jistých krystalů, které při mechanickém namáhání na určitých plochách vykazují elektrický náboj. Velikost tohoto náboje je úměrná mechanickému namáhání – stlačení. Jde tedy o měření neelektrické veličiny elektrickou cestou. Snímač s piezokrystalem se umísťuje stejně jako závitový tlakoměr do otvorů v tlakoměrné hlavni [2].

Nejvhodnější k balistickým měřením jsou krystaly křemenné. Vynikající vlastnosti křemene, které jej předurčují k měření rychle probíhajících změn a vysokých tlaků, jsou:

- jeho velká pevnost
- nezávislost na teplotě a
- vysoká vlastní frekvence.

V současné době převládá použití synteticky vyráběných krystalů.

Piezoelektrický snímač se umísťuje na hlaveň do předem zhotoveného otvoru v místě měření. Otvor je opatřen závitem o požadovaném průměru a stoupání, protože každý snímač má jiné parametry závitu. Průměr závitu volíme tedy podle snímače. Zvolený snímač obr. 6.1 [18] má metrický závit o velikosti M5x0,5 - jemný závit. Na změření tlaku v hlavni plynové zbraně není třeba použít piezoelektrický snímač pro měření vyšších tlaků. Plynové zbraně mají tlak plynů minimálně o jeden řád nižší, než u palných zbraní. U plynových zbraní bývá maximální tlak hodnoty do 10 MPa.



Obr 6.1 Piezoelektrický snímač [18]

6.2.1 Umístění snímače

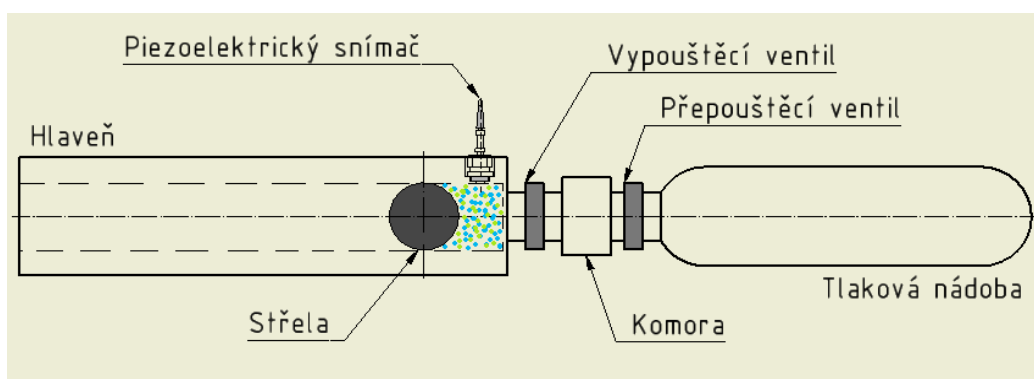
Pro umístění snímače v případě plynových zbraní je nutné především zesílit hlavěň v místě měření, popřípadě tlakovou komoru v místě vyhotovení závitu. To lze například objímkou.

I přes menší tlaky je za potřeby piezoelektrický snímač zajistit tak, aby nedošlo ke stržení závitu vlivem tlaku v hlavni nebo neopatrnou manipulací. Další překážkou v měření u plynových zbraní je příliš malá síla stěny hlavně. Po zhotovení otvoru, vyřezání závitu a našroubování snímače by mohlo dojít k jeho nedostatečnému usazení a držení. Znamená to, že bude muset být zbraň zabezpečena vhodným způsobem k eliminaci těchto negativních vlivů. Jednou z možností jak zbraň upravit a připravit ji k měření, je mechanicky přidat na síle materiálu v místě řezání závitu pro snímač. Pokud by to bylo možné a umožňovala to konstrukce plynové zbraně, nasunul by se na hlavěň nákrůžek (objímka) z oceli zesilující její průměr. V tomto nákrůžku by se pak vyhotovil otvor s odpovídajícím závitem, který by nemusel zasahovat do stěny hlavně. V té by byl vyvrtán pouze otvor umožňující průchod plynů na vstup snímače.

V případě plynovek s expanzí stlačeného plynu, kdy je shodný tlak v tlakové komůrce s tlakem v hlavni v prostoru za střelou, lze snímač umístit (zhotovit zavit pro snímač) i na tlakové komůrce. V obou případech jde o „zadní měření“.

U plynových zbraní využívající ke svému pohonu expanzi stlačeného plynu se pak může měřit tlak plynu před jeho expanzí (tlak plynu před výstřelem) v tlakové komůrce a následně pak i jeho průběh (pokles) při vlastním výstřelu, což může mít svůj význam při hodnocení parametrů (nastavení) samotné zbraně. Tlakové ztráty při průchodu plynu z tlakové komory vypouštěcím ventilem a spojovacím kanálkem do hlavně lze u analyzovaných systémů zanedbat, průměry průchodů jsou totiž k jejich délce poměrně veliké.

V obou případech (měření v hlavni nebo v tlakové komoře) navrhují měření tlaku plynu v místě za střelou, viz schéma na obr. 6.2. Toto měření umožňuje detailnější analýzu průběhu výstřelu již od počátku, tedy od okamžiku spuštění, kterým je otevření vypouštěcího ventilu.



Obr 6.2 Schéma umístění piezoelektrického snímače

Z nutných úprav vyplývá, že zbraň je tedy nutné znehodnotit a trvale tak znemožnit její běžné používání. Taková zbraň pak bude sloužit pouze k těmto účelům. Je-li síla stěny hlavně nedostatečná a její tvar neumožňuje bezproblémové nasazení objímky, zvolí se jiný způsob úpravy zbraně pro měření. Jednou z možností je vyhotovit otvor se závitem menšího průměru v místě měření a do něj našroubovat vysokotlakou hadičku s těsněním. Na jejím opačném konci bude hadička opatřena přípravkem se závitem, do kterého našroubujeme zvolený piezoelektrický snímač v celé délce jeho závitu. Tímto způsobem by se dala efektivně nahradit již popisovaná varianta umísťující snímač na zbraň. Této možnosti by se dalo využít i pro měření tlaku v tlakové komoře. I její konstrukce nemá požadovanou sílu stěny pro umístění snímače.

Výhodou takovéto úpravy by bezesporu byla možnost zaslepení otvoru v hlavni zátkou, čímž by nedošlo ke znehodnocení zbraně a ta by se mohla běžně používat.

Nevýhodou této varianty, kdy použijeme hadičku, by byla tlaková ztráta plynu v tlakové komoře, ve které by tlak poklesl v důsledku vyplnění vnitřního objemu propojovací hadičky. Budeme-li znát počáteční tlak nebo tlak v bombičce, resp. v tlakové komoře p_k , můžeme tyto ztráty určit.

Dalším měřidlem, které se dá použít při tomto měření, je manometr. Ten se může obdobně jako piezoelektrický snímač našroubovat na konec hadičky. Při tomto měření se změří maximální tlak dosažení v místě měření a ten zůstane na manometru zaznamenán. Použijeme-li manometr, který svůj ukazatel po měření vrací zpět do výchozí polohy (nula), můžeme na tomto měřidle měřit průběh tlaku v závislosti na čase. K zaznamenání tohoto měření je ale nezbytné použít další záznamové zařízení, např. rychlostní kameru, která bude snímat obrazový pohyb ukazatele manometru.

K ukázce návrhu míst a úprav zbraně pro měření tlaku plynu v hlavni jsem zvolil zbraň Crosman 2300S od výrobce Crosman, USA, viz obr. 6.3 [16]. Hlavní TTD zvolené zbraně jsou uvedena v tab. 6.1.



Obr. 6.3 Crosman 2300S [16]

Tato zbraň má z pohledu umístění snímače dostatečně silnou stěnu pouzdra zbraně, ve které je hlaveň nalisována. V tomto případě odpadá nutnost zesilovat sílu stěny hlavně. Piezoelektrický snímač se umístí do otvoru se závitem, který se vyhotoví přímo do pouzdra zbraně až k vývrtnu hlavně. Předpokládané místo pro umístění snímače je naznačeno na obr. 6.4.



Obr.6.4 Crosman 2300S

Kinetická energie střely na ústí této zbraně je menší než 15 J. Pohon zbraně je zajištěn bombičkou CO₂, která je umístěna v komoře pod hlavní. Jedna bombička CO₂ vydrží cca 60 výstřelů [16].

Tabulka 6.1 TTD Crosman 2300S [16]

Ráže	4,5 mm
Ústňová rychlost	158 m/s
Střelivo	Diabolky
Délka hlavně	255 mm

7 ZÁVĚR

Plynové zbraně jsou v současné době poměrně rozšířené a oblíbené. Je to dáno jejich snadným opatřením a i přes jejich výkonové omezení jsou dostatečnou náhražkou malorážových palných zbraní. Využití najdeme jak při sportovní, tak i rekreační střelbě. Jejich výrobou se zabývá nemálo výrobců a jejich konstrukce nabývá srovnatelných kvalit se zbraněmi palnými. Druhy zbraní AirSoft a Paintball umožňují uživatelům použít je pro cvičený a taktický boj na živé cíle, což u střelných zbraní bez úpravy zbraně pro cvičnou munici nelze. Tím pozitivně přispívají na oblíbenosti.

Mezi velké výhody patří jejich využití při výcviku i tréninku střelby. Při použití těchto zbraní se ušetří značné množství finančních prostředků za munici, která je oproti střelivu do plynových zbraní výrazně dražší a tudíž je střelba z plynových zbraní ekonomicky výhodnější. Další výhodou oproti palným zbraním je, že téměř nezatěžují uživatele a ani okolí hlukem, který doprovází výstřel z klasické palné zbraně a dále jsou šetrnější i k životnímu prostředí. Při střelbě z těchto zbraní nevznikají zplodiny a pokud budou střely vyráběny z ekologických a recyklovatelných materiálů, nedojde k znečišťování půd a vod závadnými (toxickými) odpady. V případě používání plynových zbraní nezůstává po střelbě ani odpad v podobě prázdných nábojnic. Zahrnout mezi výhody můžeme i relativně malé ohrožené prostory při střelbě a tím výrazně nižší náklady na budování a zabezpečení střelnic nebo výcvikových prostorů.

Z hlediska matematického popisu děje výstřelu, který je poměrně jednoduchý, jsem prokázal, že výsledky se shodují s publikovanými údaji a že ho lze využít i k podrobnějším analýzám vlivu různých změn (úprav povolených či doporučených výrobcem a i úprav tzv. nedovolených, které mohou změnit kategorii zbraně) konstrukčních parametrů a nabíjecích podmínek na průběh výstřelu a ústřovou energii střely.

V případě měření tlaku plynů při výstřelu jsem ukázal možnost využití piezoelektrických snímačů a úpravy zbraně. Obecně však platí, že u každé zbraně je nutné pro měření tlaku individuálně řešit jak úpravu zbraně, tak umístění snímače.

8 PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FEDERÁLNÍ MINISTERSTVIO OBRANY. *RDV-51-1, Automatické zbraně*. Praha 1991. č.j. 04038/SRDV/1990.
- [2] BEER, S., PLÍHAL, B., VÍTEK, R., JEDLIČKA, L. *Vnitřní balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava 2006. ISBN 80-248-1022-0.
- [3] FIŠER, M., *Konstrukce loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava 2009. ISBN 978-80-248-1021-8.
- [4] ČESKÁ ZBROJOVKA. *Vzduchovka SLAVIE 634*. Dostupný z www:
[http://www.czub.cz/zbrojovka/cz-navod/cz634_cs.pdf#search="vzduchovky"](http://www.czub.cz/zbrojovka/cz-navod/cz634_cs.pdf#search=\)
(cit. březen/2010).
- [5] KENTAUR. *Zbraně a střelivo*. Dostupný z www:
<http://www.kentaurzbrane.cz/volne-prodejne-zbrane/vzduchovka-gamo-shadow-1000-raze-4-5mm> (cit. březen/2010).
- [6] ČESKÁ ZBROJOVKA. *Větrovka CZ 200 T*. Dostupný z www:
http://www.czub.cz/cz/catalog/84-vzduchove-zbrane-cz/VV/CZ_200_T.aspx
(cit. březen/2010).
- [7] HUNTING SHOP. *Vzduchovky Umarex*. Dostupný z www:
<http://www.hunting-shop.cz/produkty/umarex-co2-vzduchovky-model-walther-lever-action/4-UMVW46000/> (cit. březen/2010).
- [8] HUNTING SHOP. *Vzduchovky Umarex*. Dostupný z www:
<http://www.hunting-shop.cz/produkty/umarex-co2-vzduchovky-model-pistole-umarex-red-storm/4-UMVU41030/> (cit. březen/2010).
- [9] ALFA TACTICAL. *Příslušenství*. Dostupný z www:
http://www.alfatactical.cz/index.php?Vzduchova_pistole_UMAREX_Red_Storm_RECON_cal.4,5mm&detail=10376 (cit. březen/2010).
- [10] IZARD, Julien. *Příručka technické fyziky*. SNTL, Praha 1961.
- [11] KALČÍK, J., SÝKORA, K.,: *Technická termomechanika*. Academia, Praha 1973.
- [12] KOMENDA, J., VÍTEK, R., RYDLO, M.,: *Vnější balistika loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava 2007. ISBN 978-80-248-1027-0

[13] ZBRANĚ AIRSOFT. *Zbraně G&G*. Dostupný z www:

<http://www.zbrane-airsoft.cz/airsoft-zbrane--elektricke/zbrane-gg/rk-47-wood/>

(cit. duben/2010).

[14] ZÁKON O ZBRANÍCH A STŘELIVU. Dostupný z www:

http://www.muigglock.com/_download/zakon-o-zbranich-a-strelivu-zakon119-2002.htm

(cit. duben/2010).

[15] Recenze zbraně SR25 URX Special Force od CA. Dostupný z www:

http://www.asportal.cz/chrudim/recenze/sr25_urx_ca_3.html (cit. duben/2010).

[16] Pistole Crosman 2300S 4,5 mm. *Vzduchovky*. Dostupný z www:

<http://www.pazba.cz/zbozi/4038/Pistole-Crosman-2300S-4-5-mm.htm>

(cit. duben/2010).

[17] FIŠER M.: *Měření a zkoušení automatických zbraní*. Vojenská akademie Antonína Zápotockého, Uherský Brod 1960.

[18] KISTLER. *Piezoelektrický snímač tlaku*. Dostupný z www:

http://www.kistler.com/sk_en-

[sk/134_Productfinder_Pressure/P1000.4005BA50F/Piezoresistive-pressure-sensor-measuring-range-0-...-50-bar-fine-thread-M5x0-5-without-amplifier.html](http://www.kistler.com/sk_en-)

(cit. duben/2010).